M. E. OMELIANOVSKI

# PROBLEMELE FILOZOFICE ALE MECANICII CUANTICE

EDITURA ȘTIINȚIFICĂ

# DIN PARTEA AUTORULUI

În cartea de față, autorul a încercat să sintetizeze esențialul din contribuția oamenilor de știință sovietici la studiul unui număr de probleme ale mecanicii cuantice, în care aceasta se apropie mult de filozofie. Aceste probleme se rezolvă în lupta împotriva idealismului filozofic și „fizic" de astăzi. De aceea, în carte s-a acordat o importanță considerabilă criticii și analizei sistematice a concepțiilor idealiste asupra mecanicii cuantice.

Totodată, în carte este expus un punct de vedere care, după cît cred, va permite o rezolvare pozitivă a unor probleme ale acestei teorii fizice. În ce măsură a fost dusă la bun sfîrșit această din urmă sarcină, este un lucru pe care, bineînțeles, nu autorul trebuie să-l aprecieze în primul rînd.

În lucrarea de față, s-a ținut seama de lipsurile cărții „Lenin și fizica secolului XX", pe care am publicat-o în 1947. Am analizat critic concepția complementarității a lui Bohr-Heisenberg și afirmațiile greșite, făcute în spiritul acestei concepții, în unele lucrări ale unor oameni de știință care iau poziție împotriva curentelor idealiste din fizica modernă.

Unele teze care, un timp, îmi păreau corecte sînt aici modificate. Astfel, în articolul „Principiul observabilității în fizică", publicat în nr. 4 din 1947 al revistei „Visnîk Akademii nauk URSR", s-a făcut o analiză a acestui principiu, greșită în unele puncte esențiale.

Unele considerații asupra problemelor tratate în această lucrare au mai fost expuse în articole pe care le-am publicat în periodice, de exemplu în articolul „Împotriva idealismului și a șovăielilor idealiste în mecanica cuantică" („Voprosî filosofii", nr. 4, 1951). Aceste materiale au fost folosite la alcătuirea cărții de față.

Îmi exprim adînca recunoștință față de tovarășii care au citit cartea în manuscris. Observațiile critice și indicațiile lor valoroase mi-au fost de mare ajutor la pregătirea manuscrisului pentru publicare.

*M. Omelianovski*

*CAPITOLUL I*

# MATERIALISMUL ŞI IDEALISMUL ÎN MECANICA CUANTICĂ

Realizările ştiinţei sovietice sînt însemnate, şi nici chiar adversarii ei nu le contestă. Savanţii sovietici au adus o contribuţie serioasă şi la dezvoltarea fizicii moderne, în special a fizicii nucleare, domeniu care a progresat foarte mult în ultimul timp. Aceasta presupune — printre alte condiţii — perfecţionarea electrodinamicii cuantice, a mecanicii cuantice relativiste, teoria fizică care studiază, în afară de radiaţie, cîmpurile electrice şi magnetice legate de mişcarea electronilor şi a pozitronilor.

Dezvoltarea mecanicii cuantice relativiste întîmpină mari dificultăţi. Numeroşi autori consideră, pe bună dreptate, că electrodinamica cuantica actuală este numai o treaptă spre o teorie viitoare, care, păstrînd rezultatele ei pozitive, o va înlătura, aşa cum s-a întîmplat cu teoria iniţială a lui Bohr, cînd a apărut mecanica ondulatorie sau cuantică. Dificultăţile de dezvoltare ale mecanicii cuantice relativiste sînt legate incontestabil şi de faptul că noţiunile fundamentale ale mecanicii cuantice (iar fără aceasta din urmă, ca şi fără teoria relativităţii, nu poate fi creată mecanica cuantică relativistă) nu s-au cristalizat încă definitiv, nu au căpătat acea claritate şi precizie, caracteristice pentru noţiunile fundamentale ale fizicii precuantice.

Este drept că N. Bohr şi W. Heisenberg, — liderii aşa-numitei şcoli de la Copenhaga, — P. Dirac şi mulţi alţi fizicieni de seamă, care au elaborat bazele mecanicii cuantice şi aparatul ei matematic, susţin că fundamentele teoretice ale mecanicii cuantice (principiile şi noţiunile ei fundamentale) au fost create aproximativ în anii 1925—1930. Nu putem fi însă de acord cu aceasta. Mecanica cuantică nu se reduce la aparatul ei matematic: de exemplu, nu trebuie să considerăm drept o întîmplare faptul că fizicienii şi

filozofii au rupt multe lănci în jurul aşa-numitei relaţii de nedeterminare, relaţie dintre cele mai importante în mecanica cuantică, continuînd şi astăzi lupta crîncenă în jurul problemelor principiale ale teoriei cuantice.

Pentru a ilustra această luptă, putem cita următoarea afirmaţie a lui L. de Broglie, unul dintre întemeietorii mecanicii cuantice, care — în anii 1924-1927 — a încercat să dea o interpretare proprie mecanicii cuantice, dar a renunţat la ea în 1928, aderînd la ideile lui Bohr. „Ultimele lucrări ale diferiţilor teoreticieni — scria de Broglie, în 1953 — care au tendinţa de a restabili, aprofundîndu-le pe cît posibil, idei analoge cu cele pe care le-am expus cu 25 de ani în urmă au trezit un mare interes în diferite cercuri, în care pînă acum a existat cultul pentru claritatea gîndirii, propriu lui Descartes. Reexaminînd această problemă împreună cu Vigier, un tînăr teoretician . . ., am început acum un an să reconsider concepţiile mele din 1927. Deşi mai trebuie învinse obiecţii sau dificultăţi serioase, deşi nu se poate încă prevedea succesul final al acestor încercări, totuşi această reconsiderare a dat unele rezultate promiţătoare şi, incontestabil, merită să fie continuată“[1].

L. de Broglie şi alţi fizicieni din străinătate, care s-au ridicat, în ultimul timp, împotriva concepţiilor şcolii de la Copenhaga, au formulat — împotriva indeterminismului acestei şcoli — ideea determinismului, ca idee conducătoare în mecanica cuantică. Aceste luări de poziţie dovedesc existenţa unor procese ideologice profunde în rîndurile intelectualităţii din ţările capitaliste, dovedesc forţa materialismului şi, totodată, cît de acută este lupta dintre curentele filozofice fundamentale în fizica modernă. Pentru materialişti, este în afară de orice îndoială că încercarea lui Heisenberg şi Bohr de a interpreta de pe poziţii idealiste fundamentele mecanicii cuantice a avut o influenţă dăunătoare asupra teoriilor fizice create de ei şi, în fapt, a frînat dezvoltarea ştiinţei.

De aceea, este foarte important pentru fizică să facem o analiză sistematică a mecanicii cuantice din punctul de vedere al materialismului dialectic şi să stabilim consecinţele ei gnoseologice. O lămurire corectă din punct de vedere filozofic a fundamentelor teoretice ale mecanicii cuantice ne va permite să apreciem perspectivele ei şi să obţinem noi date pentru dezvoltarea filozofiei marxiste.

[1] L. de Broglie, *La Physique restera-t-elle indéterministe?*, Gauthier-Villars, Paris, 1953, p. VI.



În această direcţie, savanţii sovietici au obţinut, în ultimul timp, importante succese. Au apărut cărţile: D. I. Blohinţev, „Bazele mecanicii cuantice“ (1949)[1], A. Sokolov şi D. Ivanenko, „Teoria cuantică a cîmpului“ (1952)[2]; au fost publicate lucrările lui V. A. Fok, A. D. Aleksandrov şi ale altor savanţi sovietici, — fizicieni şi filozofi, — în care problemele filozofice ale mecanicii cuantice sînt analizate de pe poziţiile materialismului dialectic. Nu avem posibilitatea să dezvoltăm aici aceste numeroase probleme, nici măcar în linii mari. În această lucrare, vom trata, în special, problemele privind lupta împotriva concepţiilor idealiste în mecanica cuantică. Tocmai de aceea, analiza interpretării teoriei cuantice, dată de şcoala de la Copenhaga, la care au aderat mulţi fizicieni de frunte din străinătate, ocupă un loc important în cartea de faţă.

*
* *

Discuţiile în diferite domenii ale ştiinţei, purtate în ultimii ani în ţara noastră, din iniţiativa partidului comunist, au ajutat savanţilor sovietici să stabilească linia justă pentru dezvoltarea viitoare a ştiinţei pe baza teoriei marxist-leniniste.

Filozofia marxist-leninistă, care este baza teoretică a tuturor domeniilor ştiinţei, serveşte ca îndreptar în acţiune şi în cercetarea naturii nevii, a fenomenelor fizice şi a legilor lor. Pentru un savant care se situează în mod real pe poziţiile materialismului dialectic, este necesară nu numai recunoaşterea generală a principiilor filozofiei marxist-leniniste, ci şi priceperea de a folosi această filozofie în rezolvarea problemelor din specialitatea sa. Abordarea creatoare, vie, concret-istorică a fenomenelor lumii materiale de către materialismul dialectic este opusă abordării metafizice, abstract-scolastice, este potrivnică bucherismului şi dogmatismului.

Lupta dintre materialism şi idealism în fizica modernă, a cărei analiză genială a fost dată de V. I. Lenin, în cartea „Materialism şi empiriocriticism“, s-a intensificat şi s-a ascuţit considerabil în ultimul timp, a căpătat trăsături şi particularităţi noi. Idealismul din zilele noastre parazitează pe descoperirile şi realizările fizicii moderne, falsifică adevărata lor semnificaţie filozofică, denaturează conţinutul real şi principiile ştiinţifice ale

[1] Traducere în l. romînă, Editura Tehnică, 1954 (în cele ce urmează, citatele se dau după această ediţie).

[2] Traducere în l. romînă, litografiată de I.S.R.S., 1956.

noii fizici. La discuţia filozofică din 1947, vorbind despre răstălmăcirile kantiene ale fizicienilor atomişti burghezi de astăzi, A. A. Jdanov a subliniat necesitatea de a demasca fără cruţare noua argumentare pe care, folosind datele ştiinţei actuale, savanţii burghezi o furnizează fideismului.

În legătură cu aceasta, capătă o deosebită importanţă analiza bazei experimentale a mecanicii cuantice, făcută de pe poziţiile materialismului dialectic, elucidarea justificării principiilor mecanicii cuantice, examinarea noţiunilor cu care operează, determinarea limitelor aplicabilităţii acestor noţiuni, a limitelor dincolo de care ele încetează de a mai oglindi în mod corect natura şi duc la concluzii fizice şi filozofice greşite. Toate aceste probleme privesc nu numai fizica, ci sînt, totodată, probleme de filozofie, iar aici — după cum a arătat Lenin — nu putem da crezare cuvintelor vreunui profesor burghez.

Cum se manifestă, în domeniul mecanicii cuantice, lupta dintre materialism şi idealism, care a izbucnit în fizica modernă?

Mecanica cuantică — teoria fizică a mişcării corpurilor şi a fenomenelor la scară atomică — ne-a permis să explicăm o mulţime de fapte fizice, pe care fizica veche, aşa-numita fizică clasică, nu le-a putut explica: în particular, fenomene ca efectul fotoelectric, radiaţia termică, spectrele, stabilitatea atomilor. Ea a reuşit să lege în mod sintetic proprietăţile radiaţiei şi ale substanţei, deşi nu a înaintat prea mult pe calea acestei sinteze. Ea a devenit o bază teoretică a unor domenii ale fizicii şi ale tehnicii, cum sînt analiza spectrală, electronica, energetica nucleară etc.

Mecanica cuantică a apărut şi s-a dezvoltat pe baza descoperirii discontinuităţii radiaţiei şi a proprietăţilor ondulatorii ale substanţei. Aceste descoperiri au dus la prăbuşirea principiilor şi concepţiilor fundamentale respective din fizica clasică, care considera materia ca pe un ansamblu de particule în mişcare. Fizica clasică pleca de la recunoaşterea proprietăţilor ondulatorii ale luminii şi a proprietăţilor corpusculare ale substanţei, dar, în noţiunile şi în principiile ei, faptul că lumina are şi proprietăţi corpusculare — în afară de cele ondulatorii — şi că substanţa, în afară de proprietăţi corpusculare, are şi proprietăţi ondulatorii, nu a găsit — şi nu a putut găsi — o oglindire adecvată. În legătură cu aceasta, au apărut în fizică anumite probleme de filozofie.

Mulţi fizicieni de seamă ai timpului nostru — în primul rînd, Bohr şi Heisenberg — nu au reuşit să ducă la capăt analiza filozofică a fenomenelor cuantice, care ilustrează în mod strălucit dialectica naturii. O interpretare filozofică corectă a fenomenelor cuantice, poate fi dată numai pe baza materialismului dialectic. Dar savanţii burghezi sînt departe de materialismul dialectic, în primul rînd din motive de ordin social. Nici mecanica cuantică nu a scăpat de această criză, care a cuprins fizica din ţările capitaliste şi care este un fenomen caracteristic pentru ştiinţele naturii în epoca imperialismului. Mai mult, în mecanica cuantică, această criză s-a manifestat deosebit de acut.

Din prăbuşirea violentă prin care a trecut fizica în legătură cu cucerirea lumii fenomenelor atomice, au apărut şi s-au dezvoltat — în condiţiile imperialismului — şcoli şi curente idealiste, care încearcă să exploateze fizica atomică, să denatureze conţinutul ei ştiinţific şi să îndrepte dezvoltarea mecanicii cuantice pe un drum greşit. Bohr şi Heisenberg (împreună cu Schrödinger şi Dirac) au creat mecanica cuantică. Realizările acestor fizicieni şi ale altora în domeniul fizicii atomice, ca şi în întreaga fizică modernă, confirmă materialismul dialectic; însă Bohr şi Heisenberg nu au tras concluzii filozofice corecte din descoperirile şi teoriile fizicii moderne. Ei au ignorat materialismul dialectic şi au emis principiul complementarităţii, care izvorăşte direct din idealismul subiectiv al lui Mach. În momentul creării sale (1927—1930), acest principiu era chemat să constituie baza filozofică a teoriei fenomenelor atomice, dar apoi a început să fie folosit de savanţii burghezi pentru interpretarea nu numai a fenomenelor fizice, ci şi a celor biologice şi chiar a celor sociale. Prin principiul complementarităţii, a fost denaturat în mod idealist conţinutul teoretic al mecanicii cuantice. În literatura din ţările capitaliste, au căpătat o mare circulaţie concepţiile după care mecanica cuantică ar fi expulzat din uzul ştiinţific noţiunile de materie, cauzalitate, lege, iar afirmaţiile ştiinţifice, formulele şi chiar mărimile care figurează în ecuaţiile mecanicii cuantice ar pleda în favoarea idealismului etc.

Concepţiile şi părerile idealiste din fizică au stîrnit, chiar în perioada constituirii fizicii moderne, proteste din partea multor fizicieni. Şi în timpul nostru, numeroşi fizicieni apără materialismul. În cazul de faţă, vorbind de savanţii din străinătate, avem în vedere nu atît fizicieni ca P. Langevin sau J. Bernal, care s-au ridicat deschis împotriva concepţiilor idealiste în ştiinţă, cît savanţi ca M. Planck şi A. Sommerfeld, sau W. Swann şi D. Bohm. Concepţiile materialiste ale fizicienilor americani Swann

şi Bohm în problemele mecanicii cuantice sînt, din acest punct de vedere, foarte semnificative.

Swann, de pildă, respinge relaţia de nedeterminare, numind-o „furtună într-un pahar cu apă". „După mine, — scrie el, — în nenumărate referiri la experimentul ipotetic constînd în încercarea de a determina poziţia şi impulsul (viteza) unui electron, cu ajutorul unui microscop cu raze gama, se trage concluzia cu totul greşită, relativ la rolul actului de observaţie propriu-zis, care ar duce la schimbări în mărimile măsurate"[1].

Luată ca atare, această afirmaţie a lui Swann merită toată atenţia. Concluziile pe care le stabileşte el pe această bază sînt însă vădit greşite. Dacă poziţia şi viteza electronului s-ar putea măsura, — scrie Swann, — atunci ele nu şi-ar găsi locul în mecanica cuantică, căci aceasta din urmă se poate dispensa de poziţia şi viteza electronului şi „particula figurează în ea numai ca un simbol". Swann crede că, dacă admitem existenţa electronului, ar fi pe deplin logic să presupunem că electronul se mişcă pe o traiectorie şi cu o viteză bine determinate. Limbajul mecanicii ondulatorii însă nu ne permite să descriem mişcarea presupusă a electronului, după cum nu putem exprima efectul fotoelectric prin formula legii newtoniene a gravitaţiei.

Aceste consideraţii ale lui Swann sînt rezultatul dorinţei de a extinde legile fizicii clasice, care reflectă în mod corect numai un anumit domeniu al fenomenelor fizice, la alte domenii ale naturii, în care ele nu sînt aplicabile. Electronul, ca şi un corp macroscopic, se mişcă — desigur — în spaţiu şi în timp, însă nu putem caracteriza mişcarea lui exact aşa cum o caracterizează mecanica clasică; aceasta ne-o arată noua experienţă care nu era cunoscută sau era ignorată de apărătorii concepţiilor fizicii clasice. Bineînţeles, formula legii gravitaţiei a lui Newton reflectă legături între fenomene care nu au nimic comun cu fenomenele cunoscute sub numele de efect fotoelectric. Dar are acest fapt vreo legătură cu afirmaţia că, „în limbajul mecanicii ondulatorii, nu se poate descrie mişcarea presupusă a electronului"? Swann vrea să impună aici, sub formă implicită, ideea că mişcarea electronului poate fi descrisă numai cu ajutorul mecanicii clasice. În realitate, numai mecanica ondulatorie sau cuantică reflectă legile mişcării electronului, şi dacă ideile ei nu coincid cu

[1] Citatele sînt luate din articolul lui W. Swann, *Relaţia dintre teoria fizică şi experiment*, „Review of Modern Physics", 1941, 13, nr. 3.



ideile mecanicii clasice, cauza stă în natura obiectelor pe care le studiază, şi nu în ea însăşi.

Fizicienii care văd lucrurile ca Swann au dreptate, cînd se pronunţă împotriva concepţiilor idealiste ale şcolii de la Copenhaga. Dar ei nu pot opune acestor concepţii principii consecvent materialiste, nu luptă în mod consecvent împotriva idealismului „fizic". Greşelile mecaniciste, comise de aceşti fizicieni, sînt folosite de idealişti, care, criticînd aceste greşeli, vor să lase impresia că ar distruge complet materialismul.

Un alt fizician, Bohm, în articolele publicate în revista „The Physical Review" (în 1951 şi 1952), critică de asemenea poziţia filozofică a şcolii de la Copenhaga. El spune, pe drept cuvînt, că pozitivismul lui Mach determină acea „interpretare a mecanicii cuantice", care este azi în general admisă de fizicienii din străinătate.

Atît concepţiile lui Mach care, în secolul XIX, nega existenţa atomilor, cît şi concepţia şcolii lui Bohr, care atribuie unui electron individual numai o comportare pur probabilistă, au — după cum subliniază Bohm — aceeaşi sursă filozofică: pozitivismul.

Nu putem să nu fim de acord cu observaţiile critice ale lui Bohm în legătură cu pozitivismul şi idealismul şcolii de la Copenhaga. Bohm se ridică împotriva indeterminismului în mecanica cuantică, pentru recunoaşterea realităţii obiective a fenomenelor atomice, a unei legături cauzale necesare între ele.

Ce concretizare şi-a găsit, la Bohm, critica concepţiei şcolii de la Copenhaga ?

Bohm nu renunţă, ca Swann, la principiile şi teoremele mecanicii cuantice, cu ecuaţia ei de undă şi relaţiile de nedeterminare. Bohm caută să dea — după cum spune chiar el — „interpretarea alternativă a mecanicii cuantice", care, păstrînd realizările mecanicii cuantice şi fără a atinge eficacitatea ei, ar exclude totodată „interpretarea curentă a mecanicii cuantice", adică, în fond, pozitivismul şi subiectivismul lui Bohr şi Heisenberg.

Bohm însă nu reuşeşte să realizeze acest program. După concepţia sa, electronul îşi pierde proprietăţile inseparabile corpuscular-ondulatorii : electronul apare, la Bohm, ca un obiect analog unei particule înconjurate de un cîmp ondulator; putem atribui particulei impuls şi coordonată, ea se mişcă pe o traiectorie; probabilităţile din mecanica cuantică sînt privite de Bohm „ca probabilităţile din mecanica statistică clasică, ca pură ne-

cesitate practică"[1]. Prin urmare, Bohm nu vede, în fond, nimic nou în noţiunea de probabilitate din mecanica cuantică în comparaţie cu cea din fizica clasică. Ideile lui Bohm în mecanica cuantică sînt foarte apropiate, după cum recunoaşte şi el, de anumite idei iniţiale ale lui de Broglie care, încă în 1926, concepea electronul ca pe o particulă ghidată de o undă.

Nu intenţionăm să întreprindem o analiză amănunţită a ideilor lui Bohm, dar chiar din cele expuse mai sus, reiese clar că el caută pe căile materialismului soluţia problemelor pe care le pune. El nu ştie însă că numai materialismul dialectic oferă baza filozofică necesară pentru această rezolvare.

Articolele lui Bohm reflectă protestul tot mai puternic al unui mare număr de savanţi din ţările capitaliste împotriva curentelor idealiste, împotriva subiectivismului în fizică. Ele arată că savanţii străini au început să seziseze caracterul profund eronat al concepţiilor idealiste în fizică, în particular al concepţiilor şcolii de la Copenhaga. Totodată, trebuie ţinut minte că, pentru realizarea programului propus de Bohm, materialismul vechi — care extinde concepţiile fizicii clasice dincolo de limitele lor de aplicabilitate — nu poate fi o busolă filozofică sigură. După cum a arătat Lenin, numai materialismul dialectic poate învinge, şi învinge în fapt, idealismul în fizica actuală, sub toate formele şi variantele lui. Necesitatea de a ne conduce după materialismul dialectic în rezolvarea problemelor filozofice ale mecanicii cuantice a fost subliniată de elevul lui L. de Broglie, fizicianul J. Vigier, care a dezvoltat într-o direcţie nouă ideile lui Bohm[2].

Opiniile exprimate de mulţi fizicieni împotriva idealismului în teoria cuantică iau adesea forma unei obiecţii împotriva afirmaţiei că cele mai importante noţiuni ale mecanicii cuantice nu sînt intuitive. Se consideră, de obicei, că această obiecţie poate fi înlăturată fără mari dificultăţi. De aici, părea să rezulte că aceste obiecţii nu conţin nimic raţional şi că deci şcoala de la Copenhaga capătă un argument în plus în favoarea ei.

În realitate însă, problema aceasta este mult mai complicată decît pare la prima vedere. Se ştie că noţiunea de intuitivitate este cu totul convenţională şi că conţinutul ei este variabil. Pe vremea lui Copernic, noţiunea antipozilor nu era intuitivă şi adepţii sistemului lui Ptolomeu, luînd exemplu de la un părinte

[1] „The Physical Review", 1951, 84, p. 166.

[2] J. Vigier, *Remarques sur l'article du professeur Terletski*, „La Pensée", 1955, nr. 64.



al bisericii, Lactantius (secolul IV), făceau exerciţii logice pe tema : „va fi oare cineva atît de stupid, încît să creadă că există oameni la care picioarele stau mai sus decît capul?"; în zilele noastre, pînă şi şcolarii consideră antipozii drept o noţiune intuitivă. Pentru contemporanii lui Newton, mecanica sa părea insuficient de intuitivă; iar astăzi, ea apare ca un model de intuitivitate; mai mult, de cînd a început să se dezvolte fizica clasică, condiţia de intuitivitate se reduce, pentru mulţi fizicieni, la condiţia de a construi un model mecanic al fenomenului.

Aşadar, condiţia de intuitivitate a unei teorii presupune, în primul rînd, ca această teorie să fie însuşită de fizicieni, să devină pentru ei ceva obişnuit, să intre în uzul ştiinţific. Mai departe, la aceasta mulţi fizicieni adaugă şi condiţia ca teoria „intuitivă" să aibă de-a face cu fenomene care fie că sînt percepute nemijlocit de organele de simţ, fie că se reduc la fenomene care ar putea fi percepute direct. Din acest punct de vedere, din momentul apariţiei şi dezvoltării mecanicii cuantice, condiţia de intuitivitate a început să însemne, în ultimă instanţă, condiţia de a reduce fenomenele optice, electrice şi termice la fenomene mecanice, care sînt percepute direct cu ajutorul văzului, al pipăitului etc.

Totodată, încă în fizica precuantică, din momentul dezvoltării teoriei electromagnetismului, s-a renunţat la explicarea mecanicistă a fenomenelor electrice şi a altor fenomene (de pildă, fenomenele electromagnetice sau optice nu se reduc la mişcări mecanice), a fost elaborată noţiunea de cîmp, a apărut teoria relativităţii. Teoria electromagnetismului ne oferă un exemplu clar pentru felul cum noţiunea de intuitivitate îşi schimbă conţinutul. Dacă Boltzmann a putut spune o dată despre ecuaţiile lui Maxwell: oare nu dumnezeu a desenat aceste semne? — subliniind prin aceasta ininteligibilitatea lor, „neintuitivitatea" lor pentru el (deoarece fenomenele electrice nu puteau fi reduse la cele mecanice), fizicianul actual consideră cu totul normal că teoria electromagnetismului nu necesită nici o reducere la mecanică.

Menţionăm, de asemenea, că prăbuşirea noţiunilor fizicii vechi, în urma descoperirilor care au dus la constituirea imaginii electromagnetice a fenomenelor fizice, a servit — în condiţiile sociale în care se dezvolta fizica la sfîrşitul secolului XIX şi la începutul secolului XX — ca motiv pentru apariţia idealismului „fizic". Din faptul că explicaţia mecanicistă a fenomenelor electromagnetice s-a dovedit imposibilă, fizicienii idealişti au tras

concluzia, îndreptată împotriva materialismului, că noţiunilor fizicii nu le-ar corespunde nici o realitate obiectivă, că aceasta nu ar exista de loc („materia a dispărut"), că ar exista numai ecuaţiile, că teoria fizică ar fi ceva arbitrar, pur convenţional, inventat de om pentru sistematizarea datelor experienţei etc.

Cu mecanica cuantică „s-a întîmplat" cam acelaşi lucru ca şi cu teoria electromagnetismului, dar într-o mai mare măsură. Pînă la crearea mecanicii cuantice, se admitea tacit că, în domeniul microfenomenelor, sînt valabile aceleaşi legi fundamentale ale mişcării ca şi în domeniul macrofenomenelor. Faptele noi, necunoscute fizicii clasice, au infirmat această presupunere, deoarece au fost descoperite legi mai profunde ale microfenomenelor, oglindite de mecanica cuantică, lucru despre care am vorbit mai sus.

S-ar părea că pierderea intuitivităţii în cunoaşterea noastră exprimă o anumită lege a istoriei ştiinţei, cînd, sub influenţa unor fapte noi, trebuie să restructurăm în mod radical concepţiile cu care ne-am obişnuit, că însăşi pierderea „intuitivităţii" ar însemna un progres incontestabil în dezvoltarea fizicii.

Un asemenea punct de vedere este adoptat, de exemplu, de A. F. Ioffe[1]. Aceeaşi părere se poate întîlni şi în „Lecţiile de mecanică cuantică" ale lui L. I. Mandelstam. „Trebuie să considerăm nu ca pe un neajuns, ci ca pe un merit al mecanicii cuantice — scrie L. Mandelstam — că ea a rupt cu prejudecata identităţii legilor din microcosm cu legile din macrocosm *şi, prin aceasta, cu prejudecata necesităţii unei „intuitivităţi" în descrierea fenomenelor din microcosm*"[2].

Nu putem fi însă de acord cu această părere. Problema intuitivităţii teoriilor şi a noţiunilor fizicii mai are un aspect important, care nu poate fi ignorat. În adevăr, fizica veche, clasică a adoptat în mod spontan o teorie materialistă a cunoaşterii, iar în fizica nouă, în condiţiile reacţiunii imperialiste, s-au dezvoltat concepţii idealiste, lucru de care au profitat obscurantiştii „filozofici" în lupta lor împotriva materialismului. Aceasta s-a oglindit şi în rezolvarea problemei menţionate a intuitivităţii.

Nu putem considera că lipsa intuitivităţii în interpretarea lui Heisenberg a mecanicii cuantice actuale ar fi un merit.

[1] Vezi A. F. Ioffe, *Osnovnîe predstavleniia sovremennoi fiziki*, L.—M., 1949, p. 326.

[2] L. I. Mandelstam, *Polnoe sobranie socinenii*, vol. V, 1950, p. 406 (sublinierea îmi aparţine — *M. O.*).



Această pierdere a „intuitivităţii" nu este determinată de faptul că legile microfenomenelor nu sînt identice cu legile macrofenomenelor; ea este organic legată de faptul că noţiunile fundamentale şi principiile mecanicii cuantice sînt denaturate în spiritul subiectivismului lui Mach şi, de aceea, departe de a fi clare şi distincte.

Intuitivitatea unei noţiuni sau a unei teorii înseamnă, nu atît că această noţiune sau teorie a devenit obişnuită şi nu atît că este legată într-un mod anumit de fenomenele sau obiectele percepute direct, cît că s-a lămurit modul în care ea a apărut şi ce anume reflectă în lumea materială.

Mecanica cuantică actuală, în interpretarea pe care i-o dau şcoala de la Copenhaga şi alte şcoli de fizică idealiste, nu îndeplineşte această condiţie. Lipsa intuitivităţii antipozilor sau lipsa intuitivităţii mecanicii clasice pentru contemporanii lui Copernic sau Newton nu au nimic comun cu lipsa intuitivităţii în mecanica cuantică, în interpretarea şcolii de la Copenhaga. În primele două cazuri, lipsa intuitivităţii era legată de prejudecăţile care domneau pe atunci. Pentru Copernic sau Galilei şi Newton, ideile care le-au eternizat numele erau incontestabil intuitive. Dimpotrivă, „neintuitivitatea" mecanicii cuantice (în interpretarea şcolii de la Copenhaga) este cultivată în mod conştient de Bohr şi Heisenberg. Ea este condiţionată de faptul că fizicienii idealişti încearcă să rupă, în afirmaţiile lor filozofice, noţiunile mecanicii cuantice de realitatea obiectivă pe care acestea o reflectă, că ei transformă aceste noţiuni în scheme formale „pure", care ordonează „senzaţiile fizicianului".

Aşadar, problema intuitivităţii mecanicii cuantice este strîns legată de materialismul spontan al cercetătorilor naturii, deci şi al fizicienilor. Tocmai credinţa în realitatea obiectivă a lumii exterioare, reflectată de conştiinţa umană, face ca materialismul spontan al cercetătorilor naturii să fie fundamentul care — după expresia lui Lenin — devine din ce în ce mai larg şi mai solid şi de care se sparg toate sforţările şi încordările celor o mie şi una de secte ale idealismului filozofic, ale pozitivismului, ale realismului, ale empiriocriticismului şi ale oricărui alt confuzionism.

După cum a arătat Lenin, materialismul spontan al cercetătorilor naturii nu este însă capabil să facă faţă curentelor idealiste în ştiinţă şi nu poate generaliza de pe poziţii materialiste noile ei descoperiri.

Profitînd de neputința filozofică a fizicienilor materialiști spontani, machismul — chiar și în variantele lui actuale — ignorează deosebirea dintre materialismul metafizic și cel dialectic, confundă în mod sofistic existența independentă de om a materiei, care se mișcă în spațiu și timp, conform unor legi bine determinate, și este tot mai exact și mai complet cunoscută de știința care se dezvoltă, cu concepțiile fizice despre structura și proprietățile materiei, despre mișcare, despre spațiu și timp. Machismul vrea să prezinte perimarea reprezentărilor fizicii clasice privind structura materiei, spațiul, timpul, mișcarea drept un faliment al materialismului filozofic în știință. În mecanica cuantică, acest lucru și-a găsit o expresie în principiul complementarității, susținut de școala de la Copenhaga.

Deși principiul complementarității este tratat de autorii lui ca un principiu fizic, în realitate el are — ca să ne exprimăm astfel — o finalitate filozofică și este menit să dea o justificare idealistă teoriei mișcării microobiectelor. Mecanica cuantică, interpretată în spiritul principiului complementarității, se transformă în „teoria complementarității", care se ocupă, nu atît de obiectele atomice cu proprietățile lor corpuscular-ondulatorii, cît de aparatele de măsură, de ceea ce se produce în aparat sub acțiunea microobiectelor. Încercînd să explice fenomenele cuantice, Bohr și Heisenberg au emis teza că, în fizica atomică, în genere, ar fi legată de fiecare măsurătoare o perturbare necontrolabilă, din care cauză mecanica cuantică ar avea de-a face, nu cu obiecte existente independent de aparate, de mijloacele de măsură, ci cu obiecte în coordonare cu mijloacele de măsurare.

Toate aceste afirmații ale lui Bohr și Heisenberg sînt legate indisolubil de concepția falsă că fenomenele atomice pot fi înțelese numai folosind noțiunile fizicii clasice, și anume, folosindu-le între anumite limite, considerate ca legi ale naturii. De aici, Bohr și Heisenberg obțin faimoasa lor „complementaritate"; dacă, la descrierea electronilor care se mișcă în atomi, vom folosi reprezentări spațio-temporale, atunci trebuie să renunțăm la noțiunea de cauzalitate, iar dacă vom folosi noțiunea de cauzalitate, atunci trebuie, cu tot atîta necesitate, să reprezentăm electronii în afara spațiului și a timpului. Din punctul de vedere al lui Bohr și Heisenberg, descrierea în spațiu și timp și principiul cauzalității nu s-ar putea folosi concomitent și ar reprezenta numai caracteristici „complementare", care se exclud reciproc, ale proceselor fizice. În conformitate cu aceste principii, concepția complementarității atribuie electronilor și altor microobiecte numai anumite proprietăți corpusculare (care apar la măsurarea lor); undelor însă nu li se recunoaște caracterul de realitate, lăsîndu-li-se numai o semnificație simbolică, care exprimă cunoștințele experimentatorului despre comportarea probabilistă a particulelor. „Distrugînd" existența independentă de aparat a microobiectelor și ridicînd indeterminismul la rangul de principiu al mecanicii cuantice, principiul complementarității consideră totodată, pe nedrept, că fizicianul care experimentează într-un domeniu oarecare al fenomenelor naturii, de exemplu în domeniul atomului, se folosește numai de noțiunile fizicii clasice.

Aceasta este esența concepției complementarității, sub semnul căreia idealiștii „fizici" au întunecat mai mult decît au dezvoltat conținutul teoretic al mecanicii cuantice.

* * *

Care trebuie să fie poziția materialismului dialectician în problema fundamentării filozofice a mecanicii cuantice?

În interpretarea mecanicii cuantice, materialistul trebuie să plece de la recunoașterea următoarelor principii: microfenomenele și legile lor există în mod obiectiv; obiectele macroscopice și cele microscopice, care sînt verigi ale lanțului unic al dezvoltării materiei, diferă totodată între ele din punct de vedere calitativ; între microfenomene și macrofenomene nu există o prăpastie de netrecut și toate proprietățile microobiectelor se manifestă, într-un fel sau altul, în domeniul macrofenomenelor; nu există nici un fel de limită în cunoașterea microfenomenelor.

Dar nu este suficient să recunoaștem în vorbe aceste principii materialiste. Trebuie să le aplicăm cu pricepere la expunerea mecanicii cuantice, la rezolvarea problemelor ei. De la recunoașterea unei anumite idei sub forma ei generală și pînă la realizarea și aplicarea ei creatoare în fiecare caz concret al cercetării științifice este o distanță destul de mare.

În lucrările unor fizicieni sovietici, în special dinainte de 1950, se întîlnesc afirmații după care, din punctul de vedere al conținutului științific, concepția complementarității ar fi corectă, însă i s-ar fi dat o formă idealistă, care îi denaturează conținutul; ajunge să înlăturăm această formă idealistă, și toate vor fi în ordine. În realitate, lucrurile nu stau așa. Afirmațiile lui Heisen-

berg şi Bohr, de exemplu cele referitoare la necesitatea de a schimba „descrierea clasică" dacă avem de-a face cu microfenomene, afirmaţii care sînt considerate de aceşti fizicieni ca „dialectice", înseamnă, în realitate, înlocuirea materialismului cu idealismul, lucru care este folosit de filozofia reacţionară.

Astfel, în cartea sa „Concepţiile fundamentale ale fizicii moderne" (1949), o dată cu critica justă a afirmaţiilor filozofice greşite ale lui Heisenberg, ale lui Eddington şi ale altor idealişti „fizici", A. F. Ioffe este de părere că de principiul complementarităţii sînt legate concepţii fizice pe deplin corecte, dar neobişnuite, care ar putea fi clarificate „pe baza metodei creatoare a marxismului" (p. 342). În scrisoarea sa către redacţia revistei „Uspehi fiziceskih nauk", în care analizează greşelile filozofice ale cărţii sale, menţionate mai sus, A. F. Ioffe are o atitudine critică faţă de „esenţa reacţionară" a principiului complementarităţii[1].

Rezolvarea materialistă a problemelor relative la noţiunile şi principiile fundamentale ale mecanicii cuantice poate fi dată numai pe baza recunoaşterii realităţii obiective a fenomenelor atomice, pe baza recunoaşterii interdependenţei lor obiective, necesare, guvernate de anumite legi. La aceasta se reduce esenţa problemelor în jurul cărora are loc lupta dintre materialism şi idealism în mecanica cuantică.

Să ne oprim acum asupra problemelor privind realitatea obiectivă şi cauzalitatea în mecanica cuantică, limitîndu-ne, în acest capitol, să indicăm linia directoare a cercetării noastre.

* * *

Heissenberg confundă problema gnoseologică privind realitatea obiectivă a materiei care se mişcă în spaţiu şi în timp cu teoria fizică a structurii şi a proprietăţilor materiei. El consideră că valabilitatea cunoştinţelor fizicii asupra structurii şi proprietăţilor materiei, asupra spaţiului şi timpului infirmă realitatea obiectivă a lumii exterioare. „După ce fundamentele fizicii clasice au fost recunoscute ca premise ale oricărei cercetări de fizică, — scrie Heisenberg, — a apărut extrapolarea firească, dar greşită, că ele sînt absolute, adică au întotdeauna sens şi nu pot fi schimbate prin nici un fel de experimente noi... A apărut

[1] „Uspehi fiziceskih nauk" (prescurtat, în restul lucrării, UFN), vol. LIII, fasc. 4, 1954, p. 597.



concepţia unei lumi corporale obiective, în spaţiu şi timp, care, asemenea unei maşini, se supune unei legi imuabile"[1].

Sub semnul acestei afirmaţii metafizice, filozofia reacţionară contemporană procedează la reconsiderarea idealistă a valorilor ştiinţifice ale mecanicii cuantice, lucru pe care-l vom analiza în capitolele următoare.

„Modul nostru obişnuit de a descrie natura (cu ajutorul noţiunilor de spaţiu, timp, cauzalitate. — *M. O)* şi, în special, credinţa noastră în existenţa unei legităţi riguroase în fenomenele naturii se sprijină, în realitate, pe ipoteza că fenomenele pot fi observate fără a se exercita asupra lor vreo influenţă apreciabilă"[2] — afirmă Heisenberg.

Caracterul eronat al acestei afirmaţii a lui Heisenberg este evident. Pe ce se sprijină ideea de necesitate, de legitate a naturii, de unde ştim că fenomenele naturii se conduc după anumite legi necesare? „Din acelaşi izvor — scrie Lenin — din care ştim că lucrurile există în afara conştiinţei noastre şi independent de ea, anume: din dezvoltarea cunoştinţelor noastre, care arată de milioane de ori fiecărui om că neştiinţa cedează locul ştiinţei atunci cînd obiectul acţionează asupra organelor noastre senzoriale, şi invers: ştiinţa se transformă în neştiinţă atunci cînd dispare posibilitatea unei atari acţiuni"[3].

Afirmaţia lui Heisenberg nu are nici o legătură cu fizica. Acest lucru va reieşi şi mai clar, dacă vom continua citatul de mai sus.

„În general, în fizica atomică, — scrie Heisenberg, — orice observaţie este însoţită de o perturbaţie finită şi, în parte, necontrolabilă, lucru la care trebuie să ne aşteptăm în această fizică a mărimilor principial foarte mici. Cum, pe de altă parte, orice descriere spaţio-temporală a unui proces fizic este determinată de observarea acestui proces, rezultă că descrierea spaţio-temporală a proceselor, pe de o parte, şi legea clasică a cauzalităţii, pe de altă parte, sînt aspecte complementare, care se exclud reciproc, ale proceselor fizice"[4].

Toate aceste afirmaţii ale lui Heisenberg privesc, după cum spune el, „complementaritatea fundamentală a descrierii în spa-

[1] „Die Naturwissenschaften", 1934, H. 40. Vezi şi W. Heisenberg, *Problemele filozofice ale fizicii atomice*, M., 1935, p. 15

[2] W. Heisenberg, *Principiile fizice ale teoriei cuantice*, L.—M., 1932, p. 51.

[3] V. I. Lenin, *Opere*, vol. 14, E.S.P.L.P., p. 181.

[4] W. Heisenberg, *Principiile fizice ale teoriei cuantice*, p. 51.

ţiu, timp şi cauzalitate". Din aceste afirmaţii, rezultă că — după Heisenberg — spaţiul, timpul, cauzalitatea nu sînt categorii obiective, ci numai mijloace de ordonare a fenomenelor fizice. Greşeala afirmaţiilor citate ale lui Heisenberg stă în faptul că el recunoaşte o necontrolabilitate principială, pe cînd, în realitate, necontrolabilitatea perturbaţiei legate de observaţie nu există şi nu este decît o născocire idealistă.

În domeniul atomic, ca şi în orice alt domeniu al cercetărilor fizice, putem observa, măsura fenomene fără nici o perturbaţie „necontrolabilă". Heisenberg identifică în mod cu totul eronat observaţia şi măsurarea în fizică cu interacţia corpurilor, în interpretarea fizicii clasice. El afirmă că „noţiunea de observaţie aparţine, riguros vorbind, ansamblului de idei împrumutate din experienţa noastră de toate zilele; ea nu poate fi extinsă la fenomenele atomice, decît cu condiţia de a ţine seama de restricţiile impuse tuturor imaginilor spaţio-temporale de către relaţiile de nedeterminare"[1].

În realitate însă, observaţia fizică, măsurarea nu se reduce la o interacţie fizică, deşi o presupune. Problema măsurării, a observaţiei în fizică a fost sursa tuturor ghinioanelor şcolii de la Copenhaga şi ale altor şcoli cu tendinţe idealiste din fizica modernă. Rezolvarea ei greşită a dus la toate celelalte afirmaţii eronate ale lor, pe care le-a folosit apoi idealismul.

Interpretarea dată de Heisenberg observaţiei în domeniul atomic, organic legată de „complementaritatea descrierii spaţio-temporale şi a conexiunii cauzale", în adevăr este incompatibilă cu teza materialistă a realităţii obiective a proprietăţilor atomilor, care există independent de observator şi de aparatele lui. Dacă, aşa cum am arătat, după Heisenberg, aparatul, „măsurătoarea" influenţează în mod incontrolabil obiectul cercetat, adică îi perturbă în mod incontrolabil starea, înseamnă, în fond, să recunoaştem că sursa care produce schimbarea stării obiectului nu stă în obiect însuşi, ci într-o interacţie „nedeterminată" a aparatului şi obiectului, adică, în ultimă instanţă, în aparat. Aşadar, Heisenberg încearcă să transforme realitatea obiectivă, existentă independent de măsurătoare, într-un fapt derivat din această măsurătoare; el confundă realitatea obiectivă şi măsurarea ei.

Conform principiului complementarităţii, fizicianul poate, folosind un aparat corespunzător, să „prepare" atomul în privinţa oricărei proprietăţi bine determinate (adică poate afla, de pildă,

[1] W. Heisenberg, *Principiile fizice ale teoriei cuantice*, p. 52.



că atomul se găseşte într-un anumit loc); prin aceasta însă, din cauza interacţiei necontrolabile dintre aparat şi atom, o anumită altă proprietate „complementară" a atomului, „preparată" înainte de măsurarea primei proprietăţi (fizicianul ştia de exemplu, înainte de determinarea poziţiei atomului, că acesta se mişcă cu o anumită viteză), „se risipeşte" într-un domeniu de valori nedeterminat şi iese din cadrul mărimilor fizice măsurabile exact.

De principiul complementarităţii este legată, în mod necesar, următoarea afirmaţie vădit idealistă a lui Heisenberg: „În timp ce obiectul fizicii clasice îl constituie fenomenele obective, pentru a căror existenţă observarea lor nu are importanţă, în teoria cuantică se consideră procese care apar oarecum numai în momentul observării lor, în timp ce, în intervalul de timp dintre observaţii, afirmaţiile fizice despre ele nu au sens[1].

Aşadar, ca şi alţi fizicieni idealişti, conducîndu-se după principiul complementarităţii, Heisenberg „transformă" starea obiectului atomic într-o categorie instrumentală, în fond subiectivă. El supune aceleiaşi „transformări" caracteristicele spaţiale, temporale, energetice etc. ale obiectelor atomice.

Oferind idealismului o nouă argumentare aşa-zis din domeniul fizicii, concepţia complementarităţii este intim legată de interpretarea pozitivistă a noţiunii de realitate fizică, despre care s-au scris multe în literatura filozofică din străinătate. În interpretarea pozitiviştilor contemporani, realitatea fizică nu este o realitate obiectivă, existentă independent de raţiunea umană şi reflectată de aceasta, ci o creaţie a acestei raţiuni, ceva creat de „progresul" fizicii. Cu această noţiune, pozitiviştii îşi camuflează adeziunea la poziţiile filozofiei reacţionare moderne, producînd confuzie între linia materialistă şi cea idealistă în problema realităţii. Afirmaţii în spiritul pozitivismului cu privire la realitatea fizică se întîlnesc şi la Einstein[2], deşi el interpretează adesea în chip materialist noţiunea de realitate fizică, în special în ultimele sale lucrări[3]. Pe o poziţie idealistă mai consecventă, în această problemă, stau Bohr şi alţi reprezentanţi ai şcolii de la Copenhaga[4].

[1] W. Heisenberg, *Atomtheorie und Naturerkenntnis*, „Mitt. Univ. Bundes", Göttingen, 1936, S. 1.

[2] Vezi A. Einstein şi L. Infeld, *Evoluţia fizicii*, M.—L., 1948 (trad. în l. romînă, Editura Tehnică, 1957.

[3] Vezi articolul lui A. Einstein, în culegerea *Louis de Broglie — physicien et penseur*, Albin—Michel, Paris, 1953.

[4] Vezi articolele lui N. Bohr din UFN, vol. XVI, fasc. 4, 1936 şi din revista elveţiană „Dialectica", 1948, 7/8.

Că există o legătură intimă între concepţia complementarităţii şi interpretarea pozitivistă a noţiunii de realitate fizică reiese limpede din consideraţiile fizicianului idealist german P. Jordan. Acesta afirmă deschis ceea ce mulţi alţi apărători ai concepţiei complementarităţii trec sub tăcere. Pentru Jordan, obiectivitatea este legată de posibilitatea unei măsurări absolut exacte (şi de continuitate); el consideră că fizica nu are nimic comun cu lumea obiectivă şi reală, existentă independent de orice observaţii şi măsurători. Dacă mişcarea lui Neptun este un proces obiectiv, atunci trebuie să ne mirăm că ea diferă de mişcarea atomilor prin obiectivitatea ei, susţine Jordan. „Este surprinzător — subliniază el — că, în limitele macrofizicii, există posibilitatea de a da descrierii noastre generalizatoare a rezultatelor observaţiei o formă în care nici nu este vorba direct de procesele de observaţie“[1].

Unii fizicieni materialişti, care critică în mod justificat concepţiile idealiste şi agnostice din ştiinţa modernă, nu-şi dau seama întotdeauna de legătura intimă, indisolubilă dintre aceste afirmaţii subiectiviste şi concepţia complementarităţii. Cu greu putem fi de acord, dacă nu facem anumite completări, de pildă, cu afirmaţia lui V. A. Fok, după care, atunci cînd fizicienii idealişti „vorbesc despre legile naturii, despre atomi, despre electroni, despre aparate, despre realizarea experimentelor etc., ei raţionează simplu, adică în chip materialist... Dar cînd trec la filozofie, ei recurg la forţarea şi falsificarea noţiunilor, lucru care nu mai poate fi iertat din niciun punct de vedere“[2]. Ca exemplu de asemenea falsificări, V. A. Fok citează tratarea de către Jordan a aşa-numitului principiu al observabilităţii.

Vom consacra analizei principiului observabilităţii un capitol special, în care vom arăta că rădăcinile acestui principiu nu trebuie căutate în fizică, ci în filozofia idealistă. Cît priveşte cuvintele lui V. A. Fok, citate mai sus, din care reiese, *grosso modo*, că fizicianul idealist are într-un buzunar fizica (adică o sezisare spontan-materialistă a naturii), iar în altul filozofia (adică interpretarea idealistă a principiilor fizicii), le putem admite dacă avem în vedere însăşi crearea teoriei, legătura ei cu experienţa, cînd fizicianul idealist procedează practic în conformitate

[1] Vezi P. Jordan, *Die Physik des 20, Jahrhunderts*, Braunschweig, 1936 (cap. V „Descrierea cuantică a naturii“). Această carte a fost reeditată în Anglia şi S.U.A., în 1944.

[2] V. A. Fok, *Osnovnîe zakonî fiziki v svete dialekticeskogo materializma*, „Vestnik Leningradskogo universiteta“ nr. 4, 1949, p. 44.



cu convingerea inconştientă că lumea exterioară este reală şi obiectivă. Dar fizicianul materialist, atunci cînd trece la teorie (dacă se menţine consecvent pe linia materialismului), ocupîndu-se de legile naturii, de atomi şi electroni, de aparate, de realizarea experimentelor etc., adică atunci cînd consideră problema din punctul de vedere al ştiinţei în ansamblul ei, raţionează altfel decît un fizician idealist.

Desigur, materialul experimental — adică ansamblul de fapte şi legi descoperite de ştiinţă — manifestă o indiferenţă *sui generis* faţă de ideologia claselor antagoniste. De exemplu, în societatea socialistă, nu este necesară înlocuirea cu alte principii a legilor fizicii, a axiomelor geometriei etc., descoperite de ştiinţă cu mult înainte de socialism.

Dar dacă, în privinţa materialului ei experimental, ştiinţa este indiferentă faţă de clasele antagoniste şi de ideologia acestora, clasele înseşi şi ideologiile lor sînt departe de a fi indiferente faţă de materialul experimental al ştiinţei. Savanţii burghezi falsifică, în interesul capitalismului, unele fapte, trec sub tăcere altele, inventează pretinse „fapte“ şi „legi ale naturii“, atribuie marilor descoperiri ale ştiinţei un conţinut care le este străin etc. Aceasta se explică prin poziţia clasei capitaliştilor în sistemul de producţie. Numai clasa muncitoare, singura clasă consecvent revoluţionară, este interesată ca ştiinţa să reprezinte lumea aşa cum este ea „fără nici un fel de adăugiri străine“. Interesul de clasă al clasei muncitoare, în domeniul ştiinţei, ca şi în orice alt domeniu al activităţii umane, constă în distrugerea intereselor de clasă egoiste ale burgheziei, împreună cu orînduirea exploatatoare care le generează.

Valabilitatea celor de mai sus este demonstrată şi de actuala mecanică cuantică. Lupta împotriva idealismului „fizic“ în mecanica cuantică nu se reduce numai la critica vreunui fizician idealist, de exemplu, pentru că interpretează aparatul drept subiect, iar legile statistice drept ceva nelegat de cauzalitate. A crede că, înlocuind termenul „subiect“ cu termenul „aparat“ sau că denumind legile statistice „legi cauzale“, vom face să dispară idealismul din afirmaţiile respective ale lui Bohr, ale lui Heisenberg sau ale altor fizicieni care înclină către filozofia idealistă, este o eroare gravă.

Ca teorie fizică ştiinţifică, mecanica cuantică se ridică — prin adevărata ei esenţă — împotriva afirmaţiilor idealiste care proclamă indeterminismul, după care atomul ar fi „un mijloc auxiliar pentru ordonarea factorilor experimentali“ etc. Mecanica

cuantică caută să cunoască şi cunoaşte fenomenele atomice ale naturii aşa cum sînt, fără nici un fel de adăugiri, iar aceasta înseamnă că mecanica cuantică se sprijină, în conţinutul ei real — şi nu poate să nu se sprijine — pe o concepţie materialistă asupra lumii.

Dar mecanica cuantică suferă, ca şi întreaga fizică, o influenţă considerabilă din partea suprastructurii: influenţa formelor ideologice ale luptei de clasă, a ideilor filozofice etc. Ca teorie ştiinţifică, mecanica cuantică este un sistem de cunoştinţe determinate, ceea ce înseamnă că mecanica cuantică la fel ca şi întreaga fizică, pentru a lega în mod teoretic faptele, a explica şi transforma natura, trebuie să trateze faptele conform legăturii lor interne. Dar, prin aceasta, mecanica cuantică face o inevitabilă incursiune în domeniul filozofiei. Tocmai de aceea, fac un prost serviciu materialismului autorii care cred că principiul complementarităţii, pe care se bazează construcţiile teoretice ale şcolii de la Copenhaga, ar fi o teorie fizică, că el ar fi legat intrinsec de faptele mecanicii cuantice şi le-ar explica în mod corect, că ar conţine un anumit „sîmbure experimental" etc.

În realitate, cum am mai arătat, concepţia complementarităţii s-a dezvoltat din filozofia reacţionară a machismului şi a pozitivismului. Această concepţie este străină de conţinutul ştiinţific al mecanicii cuantice, denaturează acest conţinut, duce mecanica cuantică într-un impas. După cum au dovedit în lucrările lor savanţii sovietici[1], principiul complementarităţii a apărut ca urmare a faptului că şcoala lui Bohr şi Heisenberg nu a înţeles dialectica corpuscul-undă şi a învesmîntat microobiectele în noţiunile mecanicii clasice cu particulele ei, iar filozofia idealistă a transformat sterilitatea acestei operaţii într-o denigrare a ştiinţei înaintate. Nu este o întîmplare că lui Jordan care, bazîndu-se pe Bohr şi Heisenberg, „lichidează materialismul", i s-au alăturat Ph. Frank, H. Reichenbach şi alţi filozofi burghezi reacţionari contemporani.

Trecem acum la problema cauzalităţii în mecanica cuantică. Unii fizicieni cred că problema cauzalităţii nu ar ocupa un loc

[1] Vezi, de exemplu, lucrările lui S. I. Vavilov cu privire la problemele filozofice ale fizicii; D. I. Blohinţev, *Bazele mecanicii cuantice*, M.—L., 1949; I. I. Terleţki, *Cuvîntare în cadrul discuţiilor* („Voprosî filosofii", nr. 3, 1948). Vezi şi V. A. Fok, *Kritika vzgleadov Bohra na kvantovuiu mehaniku*, UFN, vol. XLV, fasc. 1, 1951; A. D. Aleksandrov, *O smîsle volnovoi funkţii*, „Docladi Akademii Nauk SSSR", (prescurtată, în restul lucrării, DAN), vol. LXXXV, nr. 2, 1952.



important în mecanica cuantică, că această problemă aproape nu se mai pune în mecanica cuantică, fiind înlocuită prin problema interacţiei etc. Asemenea afirmaţii nu corespund adevăratei stări de lucruri.

După cum se ştie, în cartea sa „Materialism şi empiriocriticism", V. I. Lenin a acordat o atenţie deosebită problemei cauzalităţii şi a necesităţii în natură, el a subliniat existenţa celor două linii filozofice fundamentale în problema cauzalităţii: linia materialistă şi cea idealistă.

Materialismul dialectic recunoaşte existenţa legităţii obiective, a cauzalităţii şi a necesităţii în natură, reflectate de conştiinţa umană tot mai complet şi mai exact, pe măsura dezvoltării ştiinţei şi practicii. Recunoaşterea legităţii obiective a naturii este strîns legată de recunoaşterea realităţii obiective a lumii exterioare. Lenin arată că materialismul dialectic dă cauzalităţii şi legităţii o interpretare incomparabil mai profundă şi mai bogată decît materialismul metafizic, mecanicist. „Reprezentările de cauză şi efect sînt valabile ca atare numai cînd sînt aplicate la un caz izolat — citează el cuvintele lui Engels — dar că, de îndată ce privim cazul izolat în conexiunea sa generală cu întregul cosmosului, ele se contopesc, se împletesc în reprezentarea interacţiunii universale în care cauzele şi efectele îşi schimbă mereu locul, ceea ce este acum sau aici efect, devenind dincolo sau atunci cauză, şi viceversa"[1].

Negarea legităţii obiective, a cauzalităţii, a necesităţii şi deducerea cauzalităţii etc. din raţiune, recunoaşterea „haosului primar" şi a indeterminismului sînt inerente filozofiei idealiste. Cunoaşterea nu poate „crea" legi, nu poate pune „rînduială" în „haosul primar" etc. „Lumea este mişcarea materiei în virtutea unor anumite legi, iar cunoaşterea noastră, ca cel mai înalt produs al naturii, nu e în stare decît *să reflecte* aceste legi"[2] — arată Lenin.

Determinismul, adică recunoaşterea faptului că toate fenomenele din natură sînt legate între ele în mod necesar, cauzal, în virtutea unor legi bine determinate, se află la baza ştiinţei. Întîmplarea care există în univers este o formă de manifestare a necesităţii şi poate fi înţeleasă corect numai în legătură cu necesitatea şi pe baza acesteia. Una dintre formele interdependenţei universale a fenomenelor din lumea materială este cauzalitatea.

[1] V. I. Lenin, *Opere*, vol. 14, E.S.P.L.P., p. 147.
[2] *Ibidem*, p. 160.

Istoria ştiinţei, deci şi istoria fizicii şi a mecanicii, ca şi întreaga practică socială a omului duc la concluzia că cunoaşterea legăturilor necesare, cauzale care există între fenomenele naturii devine tot mai profundă şi mai completă, o dată cu dezvoltarea ştiinţei şi a practicii, învingînd limitarea relativă, proprie ştiinţei pe diversele ei trepte.

Descoperirea legilor noi ale fenomenelor atomice, necunoscute fizicii clasice, a fost interpretată de fizicienii idealişti ca un faliment al cauzalităţii în natură şi ca un triumf al indeterminismului. Aceste afirmaţii au fost folosite de idealismul filozofic contemporan pentru sprijinirea prin argumente pretins ştiinţifice a vechii teze antiştiinţifice că raţiunea impune legi naturii.

Este ştiut că Bohr şi Heisenberg sau Dirac neagă cauzalitatea în fenomenele atomice, neagă determinismul lor. Aceşti fizicieni deduc „principiul indeterminismului" fenomenelor fizice din relaţiile de nedeterminare, interpretate în spiritul concepţiei complementarităţii. Însuşi principiul „complementarităţii fundamentale", citat mai sus, exclude din circulaţia ştiinţifică cauzalitatea ca o categorie obiectivă.

Logica acestei „excluderi", la care procedează şcoala de la Copenhaga, este aproximativ următoarea: dacă aparatul influenţează în mod necontrolabil obiectul, adică îi perturbă în mod necontrolabil starea, înseamnă că variaţia observată în starea obiectului are ca sursă, nu obiectul observat, ci o influenţă nedeterminată, „necunoscută exact" a aparatului; cu alte cuvinte, obiectul iese din dependenţa cauzală. Heisenberg scrie despre aceasta: „A lega un anumit efect de o cauză determinată nu are sens decît dacă putem observa cauza şi efectul, fără a interveni şi a perturba în acelaşi timp interacţia lor". Cum însă, după Heisenberg, în fizica atomică lucrurile stau cu totul altfel, el ajunge la concluzia indeterminismului[1].

Acelaşi lucru îl afirmă şi Dirac: „Legea cauzalităţii — scrie el — poate fi aplicată numai unui sistem care nu este supus perturbaţiilor. Dacă sistemul este mic, atunci nu putem să-l observăm fără a produce în el perturbaţii simţitoare, deci nu ne putem aştepta ca între rezultatele observaţiilor să existe vreo legătură cauzală. De aceea, în teoria cuantică, are loc un indeterminism principial"[2].

[1] W. Heisenberg, *Principiile fizice ale teoriei cuantice*, p. 51.
[2] P. Dirac, *Elemente de mecanică cuantică*, L.—M., 1937, p. 12.



Aşadar, idealismul în mecanica cuantică leagă existenţa cauzalităţii în natură de observaţia fizică, de măsurătoare. În cazul de faţă, idealismul „fizic" rezolvă în mod antiştiinţific, idealist nu numai problema cauzalităţii în mecanica cuantică, ci şi problema observării fenomenelor fizice.

Prin tratarea subiectivistă a relaţiei de nedeterminare, şcoala de la Copenhaga a lui Bohr şi Heisenberg a marcat începutul unei „noi" şi specifice ofensive a fizicienilor idealişti şi a filozofilor burghezi contemporani împotriva determinismului. În 1944—1945, revista engleză „Nature" a iniţiat o discuţie în următoarea problemă: impune oare fizica atomică să se renunţe la cauzalitate? Mulţi dintre participanţii la această discuţie au apărat poziţiile idealiste. Numeroşi fizicieni de seamă din ţările capitaliste s-au situat în mod hotărît de partea indeterminismului. Fizicianul atomist american A. Compton a afirmat că „ipoteza unei divinităţi raţionale dă o explicaţie mai acceptabilă a universului decît orice altă ipoteză". În cazul de faţă, Compton nu a făcut decît să repete ceea ce au afirmat înainte, mai „spectaculos", astrofizicienii englezi Eddington şi Jeans, care au „dedus" din „mecanica cuantică" pe dumnezeu şi indeterminismul.

Ceva mai tîrziu, neomachistul german Reichenbach, emigrat în S.U.A., a dezvoltat — într-o carte voluminoasă consacrată mecanicii cuantice — indeterminismul într-un întreg sistem filozofic, care „infirmă" bazele materialiste ale fizicii[1]. În sfîrşit, în cartea „Determinism şi indeterminism", publicată în 1955, autorul ei — P. Février — tratează determinismul şi indeterminismul pe baze egale, ca ipoteze de lucru sau scheme explicative, la care apelează la nevoie fizicianul[2].

Se ştie că mecanica cuantică nu a zdruncinat principiul cauzalităţii, aşa cum — contrar afirmaţiilor idealiştilor — nu a zdruncinat nici concepţia materialistă. Mai mult, călăuzindu-se după învăţătura filozofiei marxiste despre cauzalitate şi necesitate, fizicienii sovietici şi fizicienii progresişti din străinătate au explicat noile fapte ale mecanicii cuantice, au arătat că, prin conţinutul ei real, mecanica cuantică dezvăluie noi aspecte ale legăturilor cauzale în natură, necunoscute fizicii clasice. Este suficient să amintim aici că, potrivit mecanicii cuantice, starea la un anumit moment dat determină starea în toate momentele următoare,

[1] Vezi H. Reichenbach, *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*, Berkeley and Los Angelos, 1946.
[2] P. Février, *Déterminisme et indéterminisme*, Paris, 1955.

adică, raţionînd matematic, din funcţia de undă pentru un moment anumit, putem determina în mod univoc funcţia de undă pentru momentele ulterioare.

Este esenţial să menţionăm, în cazul de faţă, că relaţia de nedeterminare nu este un „principiu" universal al mecanicii cuantice, dedus din analiza unor experimente mintale, aşa cum afirmă şcoala lui Bohr şi Heisenberg, ci o relaţie care rezultă din ecuaţiile mecanicii cuantice; ea indică nu numai limitele aplicabilităţii ideii de mişcare, elaborată de mecanica clasică, ci caracterizează şi interpretarea cuantică a stării. Aceasta din urmă nu este o categorie subiectivă, „instrumentală" sau ceva asemănător, cum afirmă fizicienii idealişti, ci o caracteristică obiectivă a stării de mişcare a microobiectelor, care reflectă trăsăturile lor specifice, la cunoaşterea cărora nu a ajuns — şi nu a putut să ajungă — mecanica clasică. S. I. Vavilov scrie: «Se poate şi trebuie să extragem din „relaţia de nedeterminare" toate consecinţele fizice, însă nu există pînă astăzi mai mult temei pentru a trage de aici concluzii filozofice asupra unui indeterminism principial, decît, de pildă, din neregularitatea vremii»[1].

* * *

Criza fizicii, deci şi criza teoriei cuantice nu poate fi depăşită de pe poziţiile materialismului vechi, mecanicist. Această criză, care constă în abaterea fizicii de la recunoaşterea directă şi categorică a valorii obiective a teoriilor ei, nu poate fi depăşită decît pe baza materialismului dialectic. V. I. Lenin scrie: „Spiritul fundamental materialist al fizicii, ca şi al tuturor ştiinţelor moderne ale naturii, va învinge toate crizele de orice fel, cu condiţia însă ca materialismul metafizic să cedeze neapărat locul materialismului dialectic"[2].

Această prevedere a lui Lenin s-a realizat în fizica sovietică, care, ca şi întreaga ştiinţă sovietică, se dezvoltă fără a cunoaşte crizele inerente ştiinţei din ţările capitaliste.

Prevederea lui Lenin, că materialismul dialectic va învinge criza fizicii moderne, se realizează şi în lucrările savanţilor străini progresişti. În articolele sale consacrate problemelor filozofice ale mecanicii cuantice, renumitul fizician francez P. Langevin a analizat tezele antiştiinţifice ale fizicienilor idealişti cu privire la indeterminism, a criticat pe Heisenberg şi pe alţi fizicieni care

[1] S. I. Vavilov, *Lenin i sovremennaia fizika*, M., 1944, p. 20.
[2] V. I. Lenin, *Opere*, vol. 14, E.S.P.L.P., p. 300.



au proclamat „liberul arbitru" al electronilor, „libera alegere" a naturii etc.

„Ceea ce se înţelege astăzi prin criza determinismului — scria Langevin — este, în realitate, criza mecanicismului, pe care căutăm să-l adaptăm pentru înţelegerea noilor fenomene"[1].

Mai departe: «Dacă natura nu ne dă un răspuns exact la întrebarea noastră referitoare la identificarea electronului cu o particulă a mecanicii clasice, nu înseamnă oare să fim prea încrezuţi, dacă vom conchide imediat că „natura nu cunoaşte determinismul"?

Nu ar fi mai corect să spunem că însăşi formularea problemei este greşită şi că electronul nu poate fi, în general, identificat cu o particulă în sensul mecanicii clasice? De aceea, problema nu stă nicidecum în a învinui natura, ci în a schimba însăşi formularea problemei, lucru incontestabil mult mai dificil, dar în schimb mult mai fructuos»[2].

Lupta lui Langevin şi a altor savanţi străini progresişti pentru victoria materialismului dialectic în ştiinţele naturii reprezintă o dovadă vie că ideile marxism-leninismului obţin adeziunea savanţilor progresişti din toată lumea şi că numai pe această cale este posibilă o ieşire din criza în care se găseşte astăzi fizica în ţările capitaliste[3].

După cum am spus, fizica modernă confirmă materialismul dialectic şi, prin întregul ei conţinut, pune în faţa savanţilor sarcina aplicării conştiente a materialismului dialectic la studiul naturii.

Intreaga filozofie burgheză actuală, începînd cu doctrinele fideiste făţişe şi terminînd cu diferitele şcoli ale pozitivismului, care se camuflează în veşminte ştiinţifice, luptă în cadrul unui singur lagăr împotriva recunoaşterii realităţii obiective a naturii şi a legilor ei. Dar fiecare nouă descoperire, fiecare realizare a ştiinţei şi a tehnicii nu face decît să pună în lumină şi mai pregnant insuficienţa, inconsistenţa concluziilor filozofice idealiste, trase din aceste descoperiri. Numai marxism-leninismul deschide în faţa cercetătorilor naturii calea către un progres real al ştiinţei, către folosirea realizărilor ei pentru binele omenirii. De aceea,

[1] P. Langevin, *Opere alese*, M., 1949, p. 361.
[2] P. Langevin, *op. cit.*, p. 396.
[3] Vezi Bela Fogarasi, *Kritik des physikalischen Idealismus*, Aufbau-Verlag, Berlin, 1953; A. Saddbey şi M. Cornforth, *Problemele filozofice ale fizicii cuantice*, în culegerea *Activiştii sociali din Anglia în luptă pentru o ideologie progresistă*, M., 1954.

este firesc din punct de vedere istoric că tocmai Uniunea Sovietică, ţara care a construit socialismul, a fost prima care a utilizat energia atomică pentru satisfacerea necesităţilor economiei naţionale.

Ştiinţa sovietică, a cărei bază filozofică este materialismul dialectic, s-a dezvoltat sub influenţa directă a marxism-leninismului. A căpătat o nouă vigoare ştiinţa din ţările de democraţie populară, care rezolvă cu succes problemele construirii societăţii socialiste. Materialismul dialectic se răspîndeşte şi printre savanţii progresişti din ţările capitaliste.

În condiţiile în care materialismul dialectic pătrunde tot mai profund în fizica modernă, în care savanţii îl adoptă tot mai mult ca instrument de luptă împotriva presiunii exercitate de concepţia burgheză despre lume, dezvoltarea creatoare a filozofiei marxist-leniniste devine de cea mai mare importanţă. Filozofia marxist-leninistă şi ştiinţele naturii se dezvoltă, în epoca noastră, indisolubil legate între ele. Realizările ştiinţelor moderne ale naturii, confirmînd materialismul dialectic şi infirmînd idealismul, ridică noi probleme care impun dezvoltarea mai departe a materialismului dialectic. Trebuie să ne ferim de eroarea comisă de anumiţi savanţi sovietici în rezolvarea acestor probleme, şi anume, de a nega realizările ştiinţei din ţările capitaliste: nu avem voie să nu vedem, în spatele denaturărilor idealiste din lucrările unor savanţi burghezi, conţinutul ştiinţific valoros, care trebuie studiat de cercetătorii sovietici cu scopul de a-l folosi în interesul socialismului. Studiul celor mai bune realizări ale ştiinţei şi tehnicii din ţările capitaliste presupune intensificarea luptei savanţilor sovietici împotriva manifestărilor idealismului în ştiinţele naturii. Aceasta îi va ajuta şi pe savanţii din ţările capitaliste să se elibereze mai uşor din cătuşele filozofiei idealiste şi să înţeleagă importanţa uriaşă a materialismului dialectic pentru dezvoltarea ştiinţelor naturii.

În capitolele care urmează, vom analiza în amănunt problemele expuse aici.



*CAPITOLUL II*

## REALITATEA OBIECTIVĂ A FENOMENELOR ATOMICE ŞI PRINCIPIUL COMPLEMENTARITĂŢII AL LUI BOHR

### 1. Principiul complementarităţii şi noţiunea de funcţie de undă în mecanica cuantică

Principiul complementarităţii îşi are originea în principiul nedeterminării. Mulţi autori identifică, în fond, aceste principii şi nu putem decît să fim de acord cu aceasta[1]. Deşi principiul complementarităţii are pretenţia unei formulări şi rezolvări „filozofice" largi a problemelor mecanicii cuantice (şi nu numai ale mecanicii cuantice), principalul conţinut al acestor două principii este unul şi acelaşi.

În ce constă esenţa principiului nedeterminării?

Aplicarea noţiunilor fizicii vechi, clasice la domeniul nou al fenomenelor atomice, în care proprietăţile corpusculare şi cele ondulatorii nu pot fi despărţite, a dus la contradicţii în teoria fizică. Bohr şi Heisenberg au pus problema: aplicînd noţiunile fizicii clasice la domeniul atomului, să se dea, în acelaşi timp, o interpretare lipsită de contradicţii a fenomenelor atomice, adică să se găsească o metodă raţională de folosire a noţiunilor vechi, clasice, în domeniul nou, atomic. Această „metodă raţională" a fost găsită de ei sub forma „principiului nedeterminării", în conformitate cu care ei expun întreaga mecanică cuantică.

Şcoala lui Bohr-Heisenberg leagă intrinsec principiul nedeterminării de una dintre cele mai importante relaţii ale mecanicii cuantice, relaţia de nedeterminare, cu care de fapt îl identifică. În literatura de fizică, nu se face adeseori nici o

[1] V. A. Fok observă că principiul nedeterminării „poate fi numit, după propunerea lui Bohr, şi principiul complementarităţii". Vezi articolul lui V. A. Fok, *Kvantovaia mehanika*, în *Fiziceski slovar*, vol. 2, 1937.

distincție între ele, însă în realitate, o astfel de identificare a principiului nedeterminării și a relației de nedeterminare este o eroare gravă.

Principiul nedeterminării și relația de nedeterminare nu înseamnă de loc același lucru. După cum se știe, relația de nedeterminare afirmă următorul lucru: cu cît este mai mică nedeterminarea $\Delta x$ în coordonata $x$, cu atît este mai mare nedeterminarea $\Delta p_x$ în componența corespunzătoare a impulsului, și reciproc ($\Delta x \Delta p_x \geqslant \frac{\hbar}{2}$ unde $\hbar$ este constanta lui Planck împărțită cu $2\pi$). Această relație se deduce din formalismul matematic al mecanicii cuantice și i se pot da diverse interpretări fizice. De exemplu, ea poate fi considerată ca o proprietate importantă a unui ansamblu cuantic (D. I. Blohințev); din punctul nostru de vedere, această interpretare este cea mai corectă. Această relație poate fi considerată ca o precizare cantitativă a relației $\Delta x \, \Delta p_x \sim \hbar$[1] (care poartă, de asemenea, denumirea de relație de nedeterminare) și tratată ca fiind identică, în ceea ce privește conținutul fizic, cu aceasta din urmă. Însă din nou, această relație încă nu poate fi considerată drept un principiu al nedeterminării.

Principiul nedeterminării se obține atunci cînd relația $\Delta x \, \Delta p_x \sim \hbar$ (care se deduce prin compararea noțiunilor ondulatorii și a celor corpusculare din fizica clasică, se demonstrează prin analiza unor experimente mintale și se consideră ca fiind limita de precizie cu care putem cunoaște, în același timp, coordonata și impulsul) este ridicată pînă la rangul de principiu. Mai pe scurt, relația $\Delta x \, \Delta p_x \sim \hbar$, dedusă și considerată într-un asemenea mod, este postulată, așa cum scrie Heisenberg, drept lege a naturii și luată ca punct de plecare pentru critica unor noțiuni care păreau de neclintit în fizica clasică, cum ar fi noțiunea de „observație".

După Bohr și Heisenberg, în fizica atomică, fiecare observație este legată de o perturbație principial necontrolabilă, ceea ce duce la complementaritatea concepțiilor spațio-temporale și a principiului cauzalității. Mai departe, Heisenberg atrage atenția asupra faptului că, în urma acestei complementarități, apare o anumită nedeterminare specifică a noțiunii de „observație", care constă în faptul că, „întotdeauna rămîne arbitrar, care obiecte

[1] Semnul $\sim$ înseamnă că primul membru are, cel puțin, ordinul de mărime al membrului al doilea.



trebuie încadrate în sistemul observat și care trebuie considerate drept mijloace de observație"[1].

Heisenberg și Bohr promovează în întreaga mecanică cuantică ideea că, în urma interacției necontrolabile a microobiectului și a mijlocului de observație (aparatul), experimentele care determină impulsul obiectului fac ca, în același timp, să fie nedeterminată coordonata lui, care înainte fusese determinată, și reciproc. „Atunci cînd, din astfel de considerente, — subliniază cunoscutul fizician elvețian W. Pauli, referindu-se la considerentele asupra interacției necontrolabile, — folosirea unei noțiuni clasice exclude pe alta, noi spunem, după Bohr, că aceste două noțiuni sînt complementare; astfel sînt, de exemplu, coordonata și impulsul unei particule"[2].

Despre aceasta vorbește și Bohr. Explicînd principiul complementarității, el arată că, „în domeniul fenomenelor cuantice, este imposibil să luăm în considerare precis influența inversă a obiectului asupra aparatelor de măsură, adică să luăm în considerare transportul de impuls, la măsurarea poziției, și să luăm în considerare deplasarea, la măsurarea impulsului"[3]. Tocmai de aceea, spune Bohr, pentru mecanica cuantică este caracteristică tratarea impulsului și a coordonatei ca mărimi care se găsesc într-o relație de complementaritate, adică, cu cît este măsurată mai precis una dintre aceste mărimi, cu atît mai puțin precis se măsoară, în același moment, cealaltă. Aceasta este ideea fundamentală a concepției complementarității la Bohr.

„Nedeterminarea" în măsurarea microobiectelor este considerată de principiul complementarității ca fiind esența măsurării în fizică. În conformitate cu principiul complementarității, interacția aparatului de măsură cu microobiectul este de asemenea natură, încît este posibil să măsurăm oricît de exact ori impulsul, ori coordonata, dar nu în același timp și coordonata și impulsul; cu alte cuvinte, există două tipuri de dispozitive de măsură, care se exclud reciproc, dintre care un tip admite măsurarea oricît de exactă numai a impulsului, iar cel de-al doilea, numai a coordonatei, și a căror utilizare concomitentă la măsurarea aceluiași microobiect este lipsită de sens.

[1] W. Heisenberg, *Principiile fizice ale teoriei cuantice*, pp. 51—52.
[2] W. Pauli, *Principiile generale ale mecanicii ondulatorii*, M.—L., 1947, p. 17.
[3] N. Bohr și alții, *Descrierea cuantică a realității fizice*, UFN, vol. XVI, fasc. 4, 1936, p. 452.

Oamenii de ştiinţă sovietici au demonstrat că principiul complementarităţii este în totală contradicţie cu materialismul[1]. Se ştie că filozofia idealistă reacţionară modernă, în lupta ei împotriva materialismului dialectic, face uz de principiul complementarităţii. Acest principiu duce la afirmaţii de tipul „liberului arbitru" al electronilor, la faimoasa alternativă: ori descrierea în spaţiu şi timp, fără cauzalitate, ori cauzalitatea, în afara spaţiului şi a timpului etc. Pe acest principiu este clădită o întreagă „filozofie a complementarităţii", cu concluzii de ordin „biologic" şi „social"[2], care ar fi chemată să rezolve într-un mod nou principalele probleme ale culturii şi ale vieţii. Nu numai Reichenbach, Frank şi alţi filozofi burghezi fac reclamă „complementarităţii" ca o „nouă formă de gîndire"; chiar fizicianul Bohr a consacrat numeroase pagini ale lucrărilor sale extinderii „principiului complementarităţii" la fenomenele psihice, la cele biologice, la cele ale vieţii sociale. De exemplu, Bohr consideră că principiul complementarităţii este util „mai ales în problemele care se referă la studiul şi compararea civilizaţiilor umane". Din punctul de vedere al acestor consideraţii ale lui Bohr (nu este o întîmplare că filozofii reacţionari fac atîta caz de concepţia complementarităţii), problema se pune în modul următor: sau o singură cultură extranaţională, sau multe culturi naţionale, ostile una alteia![3]

În literatura noastră, întîlnim însă un punct de vedere după care ar trebui să deosebim net concepţia complementarităţii de ceea ce putem numi în mod convenţional „ideea complementarităţii în fizică". Astfel, în articolul „Critica concepţiei lui Bohr asupra mecanicii cuantice" (1952), V. A. Fok scrie: «Iniţial, se înţelegea prin complementaritate situaţia care rezulta direct din relaţia de nedeterminare: complementaritatea se referea la nedeterminările în coordonată şi în impuls . . ., iar termenul „principiul complementarităţii" era înţeles ca sinonim al relaţiilor lui

[1] Vezi D. I. Blohinţev, *Bazele mecanicii cuantice;* I. P. Terleţki, „Voprosî fisolofii", nr. 3, 1948; K. V. Nikolski, *Kvantovîe protessî,* M.L., 1940. Vezi, de asemenea, V. A. Fok, UFN, vol. XLV, fasc. 1, 1951; A. D. Alexandrov, *Protiv idealizma i putaniţî v ponimanii kvantovoi mehaniki,* „Vestnik Leningradskogo universiteta", nr. 4, 1949.

[2] Vezi articolul lui N. Bohr, „Dialectica", 1948, 7/8.

[3] Vezi *ibidem.*

În legătură cu „filozofia complementarităţii", mai menţionăm articolul fizicianului W. Pauli, *Aspecte din ştiinţele naturii şi din teoria cunoaşteri ale ideii de inconştient,* în care autorul încearcă să aplice ideea de „inconştient" la problemele ştiinţelor exacte, găsind în particular o analogie între „inconştient" şi „cîmpul" din fizică („Dialectica", 1954, 32, p. 300).



Heisenberg. Însă foarte curînd, Bohr a început să vadă în principiul complementarităţii un principiu universal . . ., aplicabil nu numai în fizică, ci şi în biologie, în psihologie, în sociologie şi în toate ştiinţele . . . Dat fiind caracterul evident neîntemeiat al acestui punct de vedere, nu-l vom analiza aici. Dar, întrucît termenul „principiul complementarităţii" şi-a pierdut semnificaţia iniţială şi a început să fie folosit ca o denumire pentru unele restricţii inexistente impuse cunoaşterii şi pentru alte noţiuni greşite, cel mai bine este să renunţăm la el»[1].

Bineînţeles, principiul complementarităţii în biologie, în psihologie, în sociologie şi în toate ştiinţele este o aberaţie idealistă. Însă spre deosebire de V. A. Fok, considerăm că „semnificaţia iniţială" a principiului complementarităţii este departe de fizică şi că conţinutul lui nu are nimic comun cu conţinutul ştiinţific al mecanicii cuantice şi, în particular, cu relaţia de nedeterminare. De aceea, critica concepţiilor lui Bohr asupra mecanicii cuantice presupune, în primul rînd, demascarea caracterului idealist al „principiului complementarităţii în fizică", dacă ar fi să folosim în mod convenţional această expresie. În adevăr, „interacţia necontrolabilă", coordonarea microobiectului cu aparatul de măsură şi alte afirmaţii analoge formează tocmai baza „fizică" a concepţiei idealiste a complementarităţii, cu „liberul arbitru" al electronilor, cu limitarea cunoaşterii ştiinţifice etc. Ne putem convinge de aceasta, dacă analizăm conţinutul real al relaţiei de nedeterminare (v. § 2) şi tratarea idealistă a acestui conţinut, dată de Bohr şi Heisenberg, care au emis, în opoziţie cu propriile lor realizări din domeniul fizicii, principiul nedeterminării şi principiul complementarităţii[2].

Cum se obţine ideea de „complementaritate", ce condiţii determină apariţia ei?

Principiul complementarităţii cuprinde două elemente intim legate între ele: 1) afirmaţia interacţiei necontrolabile dintre apa-

[1] V. A. Fok, UFN, vol. XLV, fasc. 1, 1951, p. 13.

[2] Cartea de faţă se găsea sub tipar, cînd am luat cunoştinţă de articolul lui V. A. Fok, *Critica concepţiilor lui Bohr asupra mecanicii cuantice,* publicat în „Czechosl. Journ. Phys.", 5 (1955). Articolul cuprinde textul revăzut şi lărgit al lucrării cu acelaşi titlu a lui V. A. Fok, pe care am citat-o mai sus. În articol, se arată în mod clar că noţiunea de „interacţie necontrolabilă" trebuie părăsită ca fiind greşită. Prin aceasta, V. A. Fok respinge în mod just ceea ce constituie, ca să zicem aşa, sufletul principiului complementarităţii. Ce-i drept, şi în acest articol, V. A. Fok consideră admisibilă folosirea noţiunii de „complementaritate", însă numai în sensul relaţiei de nedeterminare.

rat şi obiect; 2) afirmaţia că comportarea unui microobiect individual este supusă purei probabilităţi. În acest capitol, ne vom concentra atenţia, mai ales, asupra analizei „interacţiei necontrolabile", amînînd cercetarea amănunţită a celui de-al doilea element al acestui principiu pînă la capitolul V.

Să începem cu problema interacţiei aparatului cu obiectul şi a legăturii dintre această problemă şi principiul complementarităţii.

Interacţia aparatului de măsură cu obiectul măsurat este în general inevitabilă, întrucît aparatul de măsură şi obiectul de măsurat sînt corpuri fizice. De acest lucru trebuie să ţină seamă orice teorie fizică, cum îl ia în considerare şi fizica clasică. Aceasta înseamnă că, de exemplu, măsurarea temperaturii unui corp (mai precis, procedeul fizic legat de măsurare) modifică, într-o anumită măsură, mărimea pe care o determinăm. De obicei, folosim un termometru atît de mic în comparaţie cu corpul studiat, încît modificarea respectivă nu joacă, practic, nici un rol. În principiu însă, ea este de neînlăturat. Problema se rezolvă în modul următor: după indicaţiile termometrului, recurgînd la teoria fenomenelor termice (în particular, trebuie cunoscută capacitatea termică a termometrului), putem întotdeauna să evaluăm modificarea mărimii, determinată de procesul măsurării.

Nu este vorba aici de faptul că, în conformitate cu principiul complementarităţii, măsurarea nu modifică mărimea pe care o măsurăm, ci o altă mărime, „conjugată dinamic" cu ea: la măsurarea temperaturii, mărimea care se modifică nemijlocit în procesul de măsurare nu este, nici aici, temperatura, ci energia termică, adică o mărime conjugată dinamic cu cea pe care o măsurăm. Asupra acestui lucru a atras atenţia I. I. Frenkel[1]. De fapt interacţia despre care am vorbit acum nu are nimic comun cu acea „interacţie a microobiectului cu aparatul de un anumit tip" despre care vorbeşte şcoala de la Copenhaga şi pentru care este caracteristică „necontrolabilitatea".

De felul în care se obţine interacţia necontrolabilă, din punctul de vedere al şcolii de la Copenhaga, ne putem da seama din următoarele consideraţii ale lui Bohr: „... caracterul finit al interacţiei obiectului cu aparatul de măsură, determinat de însăşi existenţa cuantei de acţiune, atrage după sine — din cauza imposibilităţii de a se controla acţiunea inversă a obiectului asupra aparatului de măsură (iar această imposibilitate va avea loc

[1] I. I. Frenkel, *Volnovaia mehanika,* vol. I, M.—L., 1934, p. 73.



întotdeauna, dacă aparatul îşi îndeplineşte menirea) — necesitatea de a renunţa definitiv la idealul clasic al cauzalităţii şi de a revizui radical concepţiile noastre asupra problemei realităţii fizice"[1].

Aşadar, după părerea şcolii de la Copenhaga, complementaritatea apare pentru că o dată cu descoperirea cuantei de acţiune, trebuie să respingem afirmaţia: interacţia obiectului cu aparatul poate fi oricît de mică. Dacă fizica clasică nu are nevoie de „complementaritate", aceasta s-ar explica prin faptul că, în cazul ei, cuanta de acţiune este foarte mică şi că, la cercetarea interacţiilor corpurilor macroscopice, putem face abstracţie de existenţa ei. Atunci însă cînd considerăm fenomenele atomice, nu putem, în principiu, să facem abstracţie de existenţa cuantei de acţiune şi, de aceea, trebuie să admitem că, la transmiterea energiei sau a impulsului, acţiunea nu poate fi mai mică decît cuanta de acţiune; prin urmare, la măsurare, nu putem reduce la zero influenţa aparatului asupra obiectului, — iată care sînt consideraţiile reprezentanţilor şcolii lui Bohr şi Heisenberg.

Aşadar, şcoala de la Copenhaga caută să-şi sprijine concepţia pe descoperirea cuantei de acţiune. După părerea lui Bohr şi Heisenberg, această descoperire atrage după sine imposibilitatea de a separa comportarea obiectului atomic de interacţia lui cu aparatul de măsură. Aceasta înseamnă însă a recunoaşte caracterul principial necontrolabil al interacţiei obiectului atomic cu aparatul, a recunoaşte comportarea pur statistică a obiectului atomic şi alte idei analoge, care formează concepţia complementarităţii.

Să mai subliniem un aspect al acestei concepţii. Toate principiile „teoretice generale", pe care şcoala de la Copenhaga le deduce din descoperirea cuantei de acţiune, se bazează pe ipoteza că fizicianul care experimentează în domeniul fenomenelor atomice nu poate să aplice decît noţiunile care figurează în fizica clasică. Deducerea de către Bohr şi Heisenberg a relaţiei $\Delta x \, \Delta p_x \sim h$, din aşa-numitul dualism al aspectului corpuscular şi ondulatoriu este bazată pe aplicarea noţiunilor clasice la domeniul fenomenelor atomice. Această „deducere" înseamnă, după cum am amintit, stabilirea unor limite care, după Heisenberg, sînt necesare pentru folosirea necontradictorie a noţiunilor clasice în domeniul atomic, adică stabilirea limitelor de aplicabilitate ale noţiunilor clasice corpusculare. Aplicarea noţiunilor clasice şi stabilirea unor limite ale aplicabilităţii lor, în sensul indicat,

[1] N. Bohr şi alţii, UFN, vol. XVI, fasc. 4, 1936, pp. 447—448.

este presupusă şi de experimentele mintale ale şcolii de la Copenhaga (analiza acestor „experimente" va fi dată în paragraful următor).

În general, pentru Bohr şi Heisenberg, numai noţiunile fizicii clasice ne permit să interpretăm şi să înţelegem fenomenele din natură pe care ni le arată experienţa, iar progresul cunoaşterii ştiinţifice constă, după opinia lor, nu atît în elaborarea unor noi noţiuni fizice, care să reflecte faptele necunoscute în fizica precuantică, cît în stabilirea limitelor de aplicabilitate ale vechilor noţiuni din teoriile clasice. De pe aceste poziţii, şcoala de la Copenhaga tratează şi problema rolului aparatului de măsură în mecanica cuantică, considerîndu-l drept un „obiect clasic", adică drept un corp care admite numai o „descriere clasică". Exact la fel apar în mecanica cuantică, din punctul de vedere al şcolii de la Copenhaga, sub denumirea de impuls, coordonată, energie etc. mărimile „clasice" corespunzătoare.

Despre acest aspect al concepţiei complementarităţii, Heisenberg scrie următoarele: „. . . în cercetările noastre asupra proceselor atomice, există o bifurcare *sui generis*. Pe de o parte, întrebările pe care le punem naturii cu ajutorul experimentului se formulează întotdeauna în noţiunile clare ale fizicii clasice, în special în noţiunile de spaţiu şi de timp. . . Pe de altă parte, expresiile matematice, utilizabile pentru reprezentarea rezultatelor experimentale sînt funcţii de undă în spaţii de fază cu mai multe dimensiuni, care nu admit nici o interpretare intuitivă simplă. Din această bifurcare, apare necesitatea ca, la descrierea proceselor atomice, să facem o distincţie netă între aparatele de măsură ale observatorului, descrise cu ajutorul unor noţiuni clasice, şi obiectele observate, a căror comportare este reprezentată prin funcţii de undă"[1].

Aşadar, chiar dacă descoperirea cuantei de acţiune ar duce, după cum afirmă şcoala de la Copenhaga, la „complementaritate", aceasta numai cu condiţia indispensabilă ca, în domeniul atomic, să se aplice în general aceleaşi noţiuni clasice ca şi în domeniul fenomenelor macroscopice. Deşi vorbeşte mereu despre necesitatea revizuirii noţiunilor fizicii, în realitate concepţia complementarităţii nu recunoaşte variabilitatea şi evoluţia lor.

Dar ce este, în esenţa ei reală, „necontrolabilitatea" despre care vorbeşte principiul complementarităţii?

[1] W. Heisenberg, *Problemele filozofice ale fizicii atomice*, pp. 7—8.



După cum am menţionat mai sus, interacţia necontrolabilă nu este interacţia dintre aparat, considerat ca un corp fizic, şi corpul fizic care reprezintă obiectul de studiu. Firește, aparatul este un corp fizic (sau un sistem de corpuri) şi, ca atare, el interacţionează cu corpul studiat şi-l modifică. Însă aparatul nu este numai un corp fizic: el este un corp fizic cu ajutorul căruia experimentatorul realizează un anumit proces de cunoaştere (de exemplu, măsoară greutatea unei bucăţi de aur, cu ajutorul balanţei). În principiul complementarităţii însă, se confundă nejustificat problema interacţiei unor corpuri fizice, cum sînt aparatul şi obiectul, cu problema cunoaşterii obiectului care există independent de aparat (prin intermediul căruia se măsoară şi se studiază obiectul): în conformitate cu ideile lui Bohr—Heisenberg, electronul este principial coordonat cu un aparat de tip „spaţial" sau „de impuls" iar starea lui ar exista numai în legătură cu măsurarea ei cu ajutorul aparatului şi prin această măsurare, iar nu independent de acestea.

În rezumat, afirmarea „interacţiei necontrolabile" a aparatului şi a obiectului atomic este ceva analog cu principiul lui Berkeley: fără subiect, nu există obiect, rolul subiectului îndeplinindu-l aparatul de măsură, iar rolul obiectului, de exemplu, electronul. Necontrolabilitatea înseamnă, aşadar, că starea electronului, caracteristicile sale spaţiale şi de impuls sînt create numai în relaţiile electronului cu aparatul; cu alte cuvinte, această stare reprezintă o categorie „instrumentală" adică, în ultimă instanţă, subiectivă.

Această interpretare a relaţiei dintre microobiectul măsurat şi aparatul de măsură este răspîndită în literatura de fizică modernă.

În cartea lui L. Landau şi E. Lifşiţ, „Mecanica cuantică", putem citi: „Procesul de măsurare prezintă, în mecanica cuantică, o particularitate foarte importantă: el exercită întotdeauna o influenţă asupra electronului supus măsurării, şi această influenţă nu poate fi, în principiu, făcută oricît de slabă, pentru o precizie dată a măsurătorii. Cu cît măsurătoarea este mai precisă, cu atît mai puternică este influenţa ei . . ."[1].

Ideile de „nedeterminare principială", „necontrolabilitate" etc. sînt răspîndite mai ales în lucrările fizicienilor străini. De

[1] L. Landau i E. Lifşiţ, *Kvantovaia mehanika*, ceast I, M.—L., 1948, p. 13.

exemplu, Pauli subliniază că măsurătoarea aduce sistemul într-o nouă stare, iar o parte din influența pe care o exercită aparatul asupra sistemului rămîne principial nedeterminată[1].

Numărul acestor exemple poate fi înmulțit. Ele arată că, pentru mulți fizicieni, ideile care se referă la principiul complementarității formează o parte constitutivă a mecanicii cuantice.

Principiul interacției necontrolabile a microobiectului și a aparatului de măsură, afirmația că obiectul din mecanica cuantică este coordonat principial cu un aparat de un tip determinat și, de aceea, folosirea unui aparat de un tip exclude folosirea concomitentă a unui aparat de alt tip reprezintă sîmburele principiului complementarității. Dacă acest principiu este greșit, atunci sînt greșite și celelalte principii care formează concepția complmentarității a lui Bohr.

Eroarea principiului complementarității stă, în primul rînd, în faptul că el nu atît subliniază particularitățile obiectelor atomice, pe care le studiază mecanica cuantică, cît dă o imagine hipertrofiată a rolului aparatului ca un corp „clasic".

Desigur, fără aparatul de măsură, omul nu ar cunoaște domeniul atomic. Ce-i drept, experimentatorul nu este obligat să măsoare direct fiecare obiect atomic cu ajutorul unui aparat macroscopic (de exemplu, cunoaștem proprietățile neutronului după rezultatele ciocnirii lui cu un proton); însă fenomenele desfășurate în aparat, pe care le percepe experimentatorul și pe baza cărora el își face o idee asupra obiectelor cercetate, sînt, de obicei, fenomene macroscopice, care se supun legilor fizice clasice (în exemplul nostru, ne facem o idee asupra neutronului, după urmele formate de picăturile de apă, care reprezintă traiectoria protonului, într-o cameră Wilson) și nu este permis să uităm acest lucru. Faptul că mecanica cuantică studiază mișcarea obiectelor atomice cu ajutorul unor aparate care funcționează pe baza legilor fizicii clasice nu înseamnă nicidecum că proprietățile obiectelor atomice, studiate de mecanica cuantică, ar fi create sau determinate de aparatele „clasice". Obiectele atomice, cu proprietățile și cu legile lor, există independent de om și de aparatele sale, deși ele pot interacționa, și interacționează, cu elementele structurale ale acestora. Aceste obiecte, care există independent de aparat (iar nu în interacție cu el), sînt studiate de teoria cuantică.

[1] Vezi W. Pauli, *Principiile generale ale mecanicii ondulatorii*, p. 17.



Nu avem dreptul să ne referim la principiul materialismului dialectic al conexiunii și interdependenței universale a fenomenelor din natură, pentru a sprijini ideea că, în mecanica cuantică, trebuie să vorbim despre un obiect care interacționează cu un aparat de măsură, iar nu pur și simplu despre un obiect, așa cum face V. A. Fok, în articolul „Legile fundamentale ale fizicii în lumina materialismului dialectic"[1]. Principiul conexiunii fenomenelor din materialismul dialectic înseamnă că nici un fenomen din natură nu poate fi înțeles, dacă îl considerăm desprins de condițiile înconjurătoare, care au dat naștere acestui fenomen și de care el este legat.

După cum recunoaște și V. A. Fok, microobiectul cu proprietățile sale nu este generat de aparat și nu este legat organic de el. Aparatul interacționează cu obiectul studiat ca un corp fizic și-l modifică, însă aparatul este un mijloc de cercetare, de măsurare, de observare etc.; prin urmare, în problema relației dintre aparat și obiect, caracterul specific nu rezidă în legătura fizică și în interacția a două corpuri (cum sînt și aparatul și obiectul), ci în faptul că, prin intermediul unui corp (care, în acest caz, apare ca aparat de măsură) care interacționează cu un alt corp, este studiat acesta din urmă. Relația dintre aparat și obiect nu se reduce, așadar, la interacția a două corpuri, deși presupune o asemenea interacție; aparatul este corpul fizic (sau sistemul de corpuri) pe care experimentatorul îl pune între sine și corpurile sau fenomenele studiate, cu scopul de a le cunoaște; această circumstanță nu poate fi ignorată la analiza problemelor referitoare la măsurare.

Din cele de mai sus, rezultă că afirmația după care, în mecanica cuantică, nu ar fi vorba despre un obiect, ci despre un obiect care interacționează cu aparatul de măsură, aduce în realitate apă la moară adversarilor materialismului.

Se înțelege că, dacă interpretăm această afirmație în sensul că, în mecanica cuantică, prezintă o importanță esențială recunoașterea legăturii strînse dintre obiectul studiat și cîmpul care-l înconjoară (condițiile exterioare), atunci această afirmație este în general corectă, deoarece, în acest caz, ea exprimă recunoașterea legăturii indestructibile a proprietăților corpusculare și

[1] Vezi V. A. Fok, „Vestnik Leningradskogo universiteta", nr. 4, 1949, p. 43.

ondulatorii ale obiectelor atomice. Este posibil ca acesta să fie sensul subînţeles în lucrarea examinată a lui V. A. Fok[1].

O neclaritate analogă se găseşte şi la A. F. Ioffe. Afirmînd că, numai pe baza metodei dialecticii marxiste, putem pune în mod corect problema interacţiei aparatului, prin intermediul căruia cunoaştem lumea exterioară, cu fenomenele acestei lumi, el repetă, în acelaşi timp, o afirmaţie fundamental greşită a şcolii de la Copenhaga: „Există limite ale preciziei măsurătorilor noastre, pe care nu le poate depăşi nici un aparat existent, care depind de proprietăţile obiectului studiat, care sînt deosebite de proprietăţile punctului material din mecanica clasică"[2]. În realitate, noile proprietăţi ondulatorii ale microobiectelor nu determină „limitele preciziei măsurătorilor noastre", ci prezenţa acestor proprietăţi ne permite să înţelegem de ce noţiuni clasice, ca viteza într-un punct, sînt insuficiente pentru caracterizarea obiectelor atomice.

Aparatele, în calitatea lor de corpuri fizice, interacţionează cu obiectele atomice şi cu cele macroscopice. Fizicianul trage concluzii asupra obiectelor, după rezultatele observate ale interacţiei obiectului cu aparatul, rezultate pe care le fixează aparatul. În cazul interacţiei obiectelor macroscopice cu aparatele, analiza teoretică, în care descrierea fenomenelor ce se desfăşoară în aparat este transformată în caracterizare a fenomenelor studiate, se bazează pe teoria fizicii clasice; în cazul interacţiei microobiectelor cu aparatele, ea se bazează pe teoria cuantică, cu funcţia ei de undă. Fundamentul pe care se sprijină deosebirea acestor două cazuri nu stă în faptul că, pentru fenomenele atomice, se postulează condiţii fizice „complementare" care se exclud reciproc (realizate de aparate) şi în care microobiectele se comportă în mod diferit (în unele condiţii, microobiectul se comportă ca o particulă macroscopică posedînd impuls, iar în altele, ca o particulă macroscopică avînd o coordonată determinată). Fundamentul este aici cu totul altul, anume că legile obiective ale fenomenelor atomice sînt profund deosebite de legile obiective ale fenomenelor macroscopice şi, deşi aceste legi sînt legate unele de altele, nu le putem reduce una la alta.

[1] În lucrarea lui V. A. Fok, *Critica concepţiilor lui Bohr asupra mecanicii cuantice* (vezi „Czechosl. Journ. Phys." 5, 1955, 4, pp. 439—445), se afirmă, de astă dată în mod explicit, că situaţia se prezintă chiar aşa şi se face critica punctului de vedere pozitivist al lui Bohr, după care obiectul s-ar „dizolva" în aparatul de măsură.

[2] A. F. Ioffe, *Osnovnîe predstavleniia sovremennoi fiziki*, p. 146.



Aşadar, este greşită afirmaţia că, în teoria cuantică, aparatul ar crea starea microobiectului, cu alte cuvinte, că în teoria cuantică starea ar reprezenta o categorie „instrumentală". Mişcarea microobiectelor, ca şi mişcarea obiectelor macroscopice, există independent de om şi de aparatele sale de măsură. Starea obiectelor atomice se deosebeşte de starea obiectelor macroscopice, deoarece mişcarea microobiectelor în spaţiu şi în timp nu poate fi identificată cu mişcarea unor particule pe traiectorii clasice. De aceea, obţinem informaţii despre starea microobiectelor în alt mod decît despre starea obiectelor macroscopice, şi anume, cu ajutorul funcţiei de undă. Este greşit să considerăm concepţia clasică asupra mişcării particulelor pe traiectorii clasice ca un „adevăr în ultimă instanţă". Mecanica cuantică merge pe calea cunoaşterii legilor naturii, mai departe decît mecanica clasică; ea extinde şi aprofundează noţiunea de mişcare mecanică, dincolo de limitele concepţiilor teoriei clasice.

Am ajuns, aşadar, la problema: ce este starea în mecanica cuantică, sau ce reflectă funcţia de undă?

*
* *

Amintim din nou că, din punctul de vedere al principiului complementarităţii, starea unui obiect cuantic este o „categorie instrumentală", iar funcţia de undă, care caracterizează starea, nu este decît un mod de „înregistrare a informaţiilor" obţinute cu ajutorul unui aparat de un anumit tip.

În realitate, mecanica cuantică nu are nimic comun cu această concepţie subiectivistă a funcţiei de undă, pe care i-o impune şcoala de la Copenhaga. Pentru a lămuri cum stau lucrurile, să comparăm ansamblul statistic al fizicii precuantice (aşa-numitul „ansamblu clasic"), de exemplu ansamblul statistic format dintr-un mare număr de gloanţe trase cu arma în anumite condiţii, cu ansamblul statistic al mecanicii cuantice (aşa-numitul „ansamblu cuantic"), de exemplu cu ansamblul statistic format de electronii proveniţi dintr-un tun electronic.

Ansamblul clasic se caracterizează prin următoarea proprietate: distribuţia impulsului şi distribuţia coordonatei aceluiaşi ansamblu statistic nu au nici o legătură una cu alta; în particular, dispersia (măsura împrăştierii statistice a mărimilor) impulsului şi dispersia coordonatei pot fi nule. Ansamblul clasic poate fi definit cu ajutorul acestei proprietăţi. Prin intermediul acestui fel de reprezentare statistică, se exprimă starea unui

corp la un moment dat, în mecanica clasică (determinată, de obicei, prin indicarea coordonatei şi a impulsului său).

Ansamblul cuantic se caracterizează prin următoarea proprietate: distribuţia impulsului şi distribuţia coordonatei aceluiaşi ansamblu se află într-o relaţie, dată de funcţia de undă, din care poate fi dedusă fiecare distribuţie; în particular, micşorarea împrăştierii impulsului duce la mărirea împrăştierii coordonatei, şi invers; pentru acelaşi ansamblu, împrăştierea impulsului şi împrăştierea coordonatei nu pot fi deodată nule. Ultima proprietate este tocmai relaţia de nedeterminare.

Aşadar, ansamblul clasic şi ansamblul cuantic prezintă deosebiri calitative. În mecanica cuantică, starea unui corp la un moment dat se caracterizează prin reprezentări statistice. În aceasta se manifestă, între altele, deosebirea dintre mecanica cuantică şi teoria clasică, care studiază proprietăţile statistice, pornind de la legile mişcării obiectelor individuale[1].

Ce exprimă funcţia de undă?

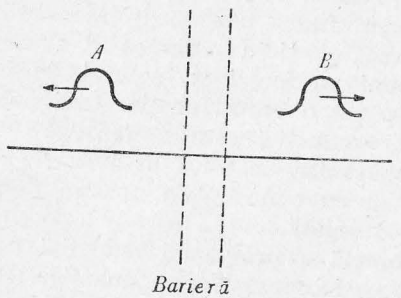
Din punctul de vedere al şcolii de la Copenhaga, funcţia de undă se referă la un obiect individual, strîns legat de un aparat de măsură. Dacă ţinem seama de faptul că, în conformitate cu concepţia complementarităţii, procesul de măsurare introduce o modificare necontrolabilă în starea obiectului, punctul de vedere menţionat mai sus înseamnă că funcţia de undă nu este o caracteristică obiectivă, ci simbolizează numai o măsurătoare asupra obiectului, adică nu are de-a face cu obiectul, ci cu ceva care pare să dispară în interacţia cu aparatul de măsură. De exemplu, după Bohr, un electron în mişcare nu posedă o stare, pînă la interacţia sa cu un aparat de un anumit tip: prin măsurare, experimentatorul obligă oarecum electronul să treacă într-o stare cu un impuls determinat, anihilînd. în acelaşi timp, starea lui precedentă în care avea o poziţie determinată (pe care electronul a căpătat-o, de asemenea, printr-o măsurătoare). Prin aceste observaţii, vrem să subliniem că funcţia de undă nu se poate raporta la un obiect individual, legat strîns de un aparat de măsură, deoarece aceasta ar duce la afirmaţia greşită că starea în mecanica cuantică nu poate exista în afară de măsurare şi independent de ea, ci este creată şi dispare datorită procesului de măsurare (adică ar duce la ideea că starea este o categorie de „măsurare", „instrumentală").

[1] Pentru amănunte, vezi cap. V.



În realitate, funcţia de undă se referă la un ansamblu cuantic. Acesta din urmă, la fel ca şi un ansamblu clasic, există independent de măsurătoare: indiferent dacă fenomenele pe baza cărora tragem concluzii asupra mărimilor ce caracterizează electronii emişi dintr-un tun electronic sînt sau nu fixate (adică indiferent, dacă sînt sau nu măsurate mărimile proprii ansamblului cuantic corespunzător), aceste fenomene, împreună cu electronii care le-au produs, există. Particularităţile ansamblului cuantic (care-l deosebesc de ansamblul clasic) sînt determinate de proprietăţile corpusculare şi ondulatorii ale microobiectelor din care este format ansamblul. Aşadar, funcţia de undă reprezintă un ansamblu cuantic.

Funcţia de undă este o caracteristică statistică. Dar aceasta nu înseamnă de loc că ea s-ar baza numai pe concepte statistice, în forma lor pură, dacă ne putem exprima astfel: nici o prelucrare statistică a datelor care se referă la mişcarea microparticulelor nu poate să redea particularităţile caracteristice ale unui fenomen cum ar fi difracţia electronilor, pe cînd funcţia de undă reprezintă acest fenomen. Funcţia de undă (împreună cu alte noţiuni ale mecanicii cuantice) exprimă legile statistice specifice ale microfenomenelor, care nu se aseamănă cu legile specifice ale fenomenelor macroscopice (reflectate, de exemplu, în noţiunile mecanicii statistice). Caracterul specific al acestor legi statistice este legat de faptul că microobiectele posedă, pe lîngă proprietăţile corpusculare, şi proprietăţi ondulatorii.




Acesta este sensul fizic al funcţiei de undă. A concepe funcţia de undă ca referindu-se la un ansamblu cuantic înseamnă a înţelege fenomenele cuantice aşa cum sînt ele în realitate, fără nici un fel de adaosuri străine, de felul „aparatului coordonat principial cu microobiectul".

Pentru a ilustra considerentele de mai sus cu privire la sensul fizic al funcției de undă, să cercetăm problema așa-numitei „reducții a unui pachet de unde".

Să presupunem că un pachet de unde cade pe o barieră de potențial și, prin aceasta, se desparte în două: parte trece și parte se reflectă. Din punct de vedere matematic, acest proces se descrie în felul următor: integrala pătratului modulului funcției de undă a pachetului transmis sau reflectat (adică probabilitatea ca obiectul să se afle la dreapta sau la stînga barierei) este egală cu 1/2 (vezi figura). Să presupunem însă că am stabilit că obiectul se află în regiunea *A*. În acest caz, afirmăm: măsurarea coordonatei obiectului reduce pachetul de undă (îl strînge în regiunea *A*).

În legătură cu acest exemplu, Einstein a făcut următoarea observație: acțiunea în *A* a modificat probabilitatea în *B*, de la 1/2 la 0; cum distanța între *A* și *B* poate fi foarte mare, iar acțiunea în *A* de foarte scurtă durată, rezultă că acțiunea din *A* poate să se transmită în *B*, cu o viteză mai mare decît viteza luminii[1].

Dacă punem în legătură funcția de undă cu noțiunea de cîmp din fizica clasică, s-ar părea că reducția ar trebui să ilustreze o dificultate insurmontabilă a mecanicii cuantice. Însă considerațiile de mai sus arată numai că funcția de undă nu poate fi legată de noțiunea de cîmp din fizica clasică.

În conformitate cu ideile școlii de la Copenhaga, reducția pachetului de unde arată că funcția de undă caracterizează numai informații despre starea particulei: informațiile despre starea particulei în regiunea *A* și în regiunea *B* s-au modificat după determinarea poziției particulei și, natural, în locul funcției de undă inițiale, a apărut o nouă funcție. Însă o astfel de „rezolvare" a problemei reducției este o rezolvare de pe pozițiile subiectivismului: mecanica cuantică ar avea de-a face astfel, nu direct cu natura, ci cu cunoștințele noastre despre natură[2]. De aceea, ea trebuie respinsă.

Rezolvarea corectă a problemei reducției poate fi dată numai pe baza concepției ansamblelor cuantice. Reducția pachetului de unde, despre care a fost vorba mai sus, înseamnă că un ansamblu cuantic pur (în care probabilitatea ca coordonata

[1] Acest exemplu este luat din L. I. Mandelstam, *Polnoe sobranie trudov*, vol. V, 1950, p. 371.

[2] Vezi W. Heisenberg, *Problemele filozofice ale fizicii atomice*, p. 117.



să ia valoarea *A* este egală cu 1/2) trece într-un nou ansamblu pur (caracterizat printr-o funcție de undă de tipul funcției δ). Următoarea exemplificare „macroscopică" poate servi drept ilustrare a reducției. Să presupunem că, dintr-un tun care efectuează trageri la intervale de timp mari, proiectilele nimeresc într-o localitate anumită. Fie probabilitatea ca un proiectil să nimerească în regiunea *A* a acestei localități egală cu 1/2, iar în regiunea *B*, tot cu 1/2. Aceasta înseamnă că, dacă se lansează un număr mare de proiectile, jumătate dintre ele nimeresc (în medie) în regiunea *A*, iar jumătate, în regiunea *B*; de aceasta ne dăm seama după un număr mare de observații neîntrerupte, fiecare dintre ele constînd în stabilirea faptului că un proiectil, într-un interval de timp determinat, a nimerit sau nu într-o regiune determinată. Să admitem însă că lovirea regiunii *B* se determină după o observație indirectă, în care observarea regiunii *A* arată că proiectilul a ajuns acolo. În acest caz trebuie să tragem concluzia că probabilitatea ca proiectilul să ajungă în regiunea *B* este egală cu 0, iar ca să ajungă în regiunea *A*, cu 1. Așadar, ansamblul proiectilelor care lovesc regiunea *A* (în care probabilitatea este egală cu 1/2) trece într-un nou ansamblu (în care ținta atinsă este mereu una și aceeași, *A*).

Considerînd funcția de undă ca o caracteristică obiectivă a unui ansamblu cuantic, este necesar să subliniem cu toată tăria că proprietățile ondulatorii ale unui microobiect sînt tot atît de reale ca și proprietățile lui corpusculare, cu care ele se află într-o legătură indestructibilă. Recunoașterea caracterului real al proprietăților corpusculare și ondulatorii inseparabile ale microobiectelor este o presupunere de bază a mecanicii cuantice.

Atunci cînd fizicianul, urmîndu-l pe Bohr, „efectuează" experimente mintale cu electronii, el este obligat să țină seamă de existența proprietăților corpusculare și ondulatorii ale obiectelor atomice. Însă, în concepția complementarității, acest fapt nu este o sursă de idei fizice noi, ci servește ca un fel de reazem pe care se sprijină faimoasa „necontrolabilitate principială". De exemplu, în discuția sa cu Einstein, Bohr se referă cu plăcere la difracția electronilor, ilustrînd prin experimente mintale noțiunea de necontrolabilitate principială. Fără această referire, experimentele mintale ale lui Bohr „nu reușesc", însă faptul difracției electronilor nu figurează în considerațiile lui Bohr decît ca o referință, și nimic mai mult[1]. Reprezentanții școlii de la

[1] Vezi N. Bohr și alții, UFN, vol. XVI, fasc. 4, 1936, p. 449.

Copenhaga vorbesc mult despre proprietăţile ondulatorii ale microobiectelor, însă în cercetarea fizică concretă, reprezentările ondulatorii nu sînt pentru ei decît abstracţii fără realitate, decît un simbol al comportării pur statistice a unei particule individuale.

Proprietăţile corpusculare şi ondulatorii inseparabile ale microobiectelor sînt dovedite în mod convingător, nu prin experimentele mintale ale şcolii de la Copenhaga, ci prin experimente reale. În această privinţă, dualitatea obiectelor cuantice este demonstrată în mod deosebit de viu în experimentele vizuale ale lui S. I. Vavilov asupra fluctuaţiilor unui flux luminos la intensităţi slabe. Desigur, un flux luminos nu e un flux de electroni, dar — în cazul de faţă — nu este vorba de specificul fiecărui flux în raport cu celălalt, ci de faptul că, în aceste experimente, insuficienţa, mărginirea interpretării ondulatorii şi a celei corpusculare, luate separat, apare cum nu se poate mai evident. Se constată că, la intensităţi slabe ale luminii, se obţine o figură de interferenţă, care diferă de figura de interferenţă formată de un flux luminos de intensitate obişnuită, prin aceea că, în timp ce franjele întunecate rămîn nemodificate, în regiunea franjelor luminoase se observă fluctuaţii dezordonate, care se produc în mod independent în fiecare franjă. Cu alte cuvinte, proprietăţile ondulatorii ale luminii nu există decît într-o unitate indestructibilă cu proprietăţile ei corpusculare. „În faţa observatorului, în acest experiment — observă S. I. Vavilov — apare în mod deosebit de transparent dualitatea corpuscular-ondulatorie a procesului luminos“[1].

Acelaşi lucru, însă cu privire la substanţă, este demonstrat relativ la electroni în experimentul lui L. Biberman, N. Suşkin şi V. Fabrikant. Din acest experiment asupra difracţiei unor electroni emişi succesiv[2], rezultă concluzia că un electron individual are, în acelaşi timp, proprietăţi corpusculare şi ondulatorii. Un electron trecut prin sistemul care produce difracţia dă o pată (urma locului în care a nimerit electronul), nu o imagine de difracţie, şi deci el are proprietăţi corpusculare. Dar, dacă experimentul continuă un timp suficient, petele succesive care se distribuie dezordonat se aşază, în cele din urmă, în aşa fel încît formează o imagine de difracţie; prin urmare, electronul nu interacţionează cu un atom sau cu un număr mic de atomi ai

[1] S. I. Vavilov, *Microstructura luminii*, M., 1950, p. 129 (traducere în l. romînă, Editura Academiei R.P.R., 1955).

[2] Vezi DAN SSSR, vol. LXVI, 1949, nr. 2, pp. 185—186.



sistemului difractant, cum ar fi interacţionat o particulă clasică, ci interacţionează cu întregul sistem difractant, luat ca un singur tot, adică electronul manifestă proprietăţi ondulatorii. Prin urmare, electronul trece prin sistemul difractant, nu numai ca o particulă şi nu numai ca o undă, ci ca un obiect care prezintă proprietăţi corpusculare şi ondulatorii inseparabil legate între ele.

Propriu-zis, fiecare experiment real pentru studiul proprietăţilor cuantice, de exemplu cunoscutul experiment al lui A. Compton (în care a cercetat variaţia frecvenţei razelor $X$ difuzate, în funcţie de unghiul de difuzie), nu poate fi de loc interpretat în cadrul noţiunilor fizicii clasice şi nu se încadrează nici într-o explicaţie pur corpusculară şi nici în una pur ondulatorie.

Această problemă este tratată în cartea lui Blohinţev „Bazele mecanicii cuantice“ (1949, p. 14), însă aspectul ei filozofic important nu este încă suficient clarificat. Astfel, în cartea lui E. V. Şpolski, „Fizica atomică“, se consideră că diferitele fenomene optice (precum şi fenomenele legate de mişcarea electronilor) pot fi privite atît din punctul de vedere ondulatoriu, cît şi din punct de vedere corpuscular, şi se afirmă că cele două puncte de vedere ar fi egal îndreptăţite[1]. Nu putem fi de acord cu aceasta. În primul rînd, afirmaţiile de acest fel lasă drum liber convenţionalismului celui mai pur al machiştilor actuali[2]. Caracterul lor greşit poate fi arătat, folosind exemplul cu reţeaua de difracţie. După cum se ştie, formula reţelei de difracţie se deduce pe baza concepţiilor ondulatorii. Deducînd această formulă — cum crede E. V. Şpolski — şi pe baza concepţiilor corpusculare, el utilizează în realitate reprezentări cuantice (condiţiile cuantice ale lui Bohr, formula impulsului unui foton etc.). Or, concepţiile cuantice nu se reduc la concepţii corpusculare şi a denumi corpusculare concepţiile cuantice, aşa cum face de fapt E. V. Şpolski, înseamnă a comite o gravă inexactitate.

Problema esenţei duale corpuscular-ondulatorii a microfenomenelor este şi rămîne un obstacol greu de trecut pentru toate minţile metafizice. Se ştie că idealismul în fizică vrea să pună capăt contradicţiei vii continuu-discret în natura microobiectelor, căutînd să o transforme într-o contradicţie logică formală, neîn-

[1] Vezi E. V. Şpolski, *Fizica atomică*, vol. I, Editura Tehnică, 1954, pp. 342—350 passim.

[2] De exemplu, putem găsi la Reichenbach consideraţii întinse cu privire la faptul că modurile de tratare corpuscular şi ondulatoriu ale electronilor sînt, din punct de vedere „teoretic“, absolut egal îndreptăţite (vezi H. Reichenbach, *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*, partea I, § 7).

ţelegînd că legea logică a contradicţiei nu are nici o legătură cu negarea contradicţiilor dialectice. În cazul de faţă, ca şi totdeauna, metafizica este o punte spre idealism.

Există două linii care se exclud reciproc — cea metafizică şi cea dialectică — în abordarea problemei naturii corpuscular-ondulatorii contradictorii a microobiectelor.

Linia metafizică susţine că: 1) sau microobiectele sînt considerate ca formaţii ondulatorii (exemplu: pachetul de unde din teoria iniţială a lui Schrödinger), 2) sau fenomenele ondulatorii sînt caracterizate ca fenomene într-un mediu format din particule, adică proprietăţile ondulatorii sînt considerate secundare în raport cu cele corpusculare (într-o anumită măsură, pot servi drept exemplu concepţiile teoriei corpusculare a luminii a lui Newton), 3) sau proprietăţile ondulatorii sînt considerate tot atît de primare ca şi cele corpusculare (exemplu: ideea undei-pilot a lui L. de Broglie: unda reală, ocupînd o anumită regiune în spaţiu, pilotează un corpuscul care ocupă în undă o poziţie determinată).

Linia dialectică înseamnă că proprietăţile ondulatorii şi cele corpusculare ale obiectului sînt privite ca ceva unic, inseparabil. Teoria microfenomenelor trebuie să exprime în noţiunile şi principiile ei natura dual㠠corpuscular-ondulatorie a fenomenelor microscopice, în întreaga ei complexitate. Pe această linie, se dezvoltă teoria fenomenelor microscopice, inclusiv mecanica cuantică, însă în lucrările fizicienilor nu există încă o expunere sistematică şi suficient de completă a acesteia.

Linia dialectică în abordarea rezolvării acestei probleme a fost schiţată şi dezvoltată în literatura ştiinţifică actuală. În legătură cu aceasta, trebuie să citäm, în primul rînd, lucrările lui S. I. Vavilov. În cartea „Microstructura luminii" (1950) şi în alte lucrări, el a dezvoltat ideea proprietăţilor corpuscular-ondulatorii reale — unitare în esenţa lor — ale materiei. De exemplu: cartea „Ochiul şi soarele" (1950), conţine următoarea afirmaţie importantă:

„Foarte răspîndită este părerea că în experimente de un tip (de exemplu, în experimentul cu inelele lui Newton) lumina s-ar comporta în întregime ca o mişcare ondulatorie, iar în experimente de alt tip (de exemplu decolorarea unui ţesut vopsit) lumina s-ar manifesta în întregime ca un flux de particule. Acest lucru este însă greşit. Dacă efectuäm experienţa lui Newton cu o lumină extrem de slabă, atunci în anumite condiţii există posibilitatea de a se observa fluctuaţii statistic dezordonate ale



strălucirii inelelor luminoase, care arată că energia luminii şi în acest fenomen tipic ondulatoriu este concentrată în centre izolate — fotoni. Pe de altă parte, dacă luminäm ţesutul colorat prin fante înguste, atunci la decolorare se observă fenomene de difracţie.

*Materia, adică substanţa şi lumina* — subliniază S. I. Vavilov — *posedă concomitent proprietăţile undelor şi ale particulelor, însă în ansamblu* ele nu sînt *nici unde, nici particule şi nici un amestec al celor două*[1].

Această poziţie materialist-dialectică, a cărei justeţe a fost verificată direct în experimentele vizuale ale lui S. I. Vavilov, în experimentul cu difracţia electronilor emişi succesiv şi în altele asemănătoare, ne obligă să respingem afirmaţia multor fizicieni că, în unele experimente, în unele condiţii experimentale, microobiectele se comportă numai ca particule, iar în altele numai ca unde, *tertium non datur*. Tocmai această afirmaţie greşită este prezentată de partizanii lui Bohr-Heisenberg drept o confirmare experimentală a concepţiei complementarităţii, cu ideea ei asupra dispozitivelor experimentale care se exclud reciproc.

Pornind de la cele spuse, nu putem fi de acord cu o observaţie critică a lui D. I. Blohinţev referitoare la principiul complementarităţii. În articolul „Critica concepţiilor filozofice ale şcolii de fizică de la Copenhaga"[2], el scrie: „. . .Aparatele de măsură se împart, în realitate, în două clase: de impuls-energie, şi spaţio-temporale, însă legile cuantice nu decurg de loc din această împărţire; dimpotrivă, această împărţire decurge din legile cuantice".

În primul rînd, în această afirmaţie, împărţirea aparatelor în două tipuri sau clase care se exclud reciproc este absolutizată, întrucît această împărţire este declarată ca o consecinţă a legilor cuantice, adică a legităţilor obiective ale naturii. Însă ochiul, în experimentele vizuale ale lui S. I. Vavilov, de exemplu, este un aparat prin intermediul căruia se obţin concomitent date asupra proprietăţilor corpusculare şi ondulatorii ale luminii, adică ochiul este, în principiu (în anumite condiţii), un aparat a cărui existenţă o neagă afirmaţia lui D. I. Blohinţev.

În al doilea rînd, în această afirmaţie, problema naturii duale, contradictorii a microobiectelor este redusă la problema

[1] S. I. Vavilov, *Ochiul şi Soarele*, M.—L., 1950, pp. 43—44; (vezi şi traducerea în l. romînă, Cartea Rusă, 1953, pp. 49—50).
[2] Culegerea *Filosofskie voprosî sovremennoi fiziki*, M., 1952, p. 367.

claselor de aparate care se exclud reciproc, adică contradicția vie a fenomenelor microscopice este „înlăturată", iar în locul ei este pusă „contradicția", împietrită în caracterul ei metafizic, între aparatele de impuls-energetice și cele spațio-temporale.

În sfîrșit, în al treilea rînd, dacă am fi de acord cu D. I. Blohințev, atunci afirmația sa despre tipurile de aparate de măsură din mecanica cuantică, care se exclud reciproc, nu adaugă nimic la ceea ce știm despre legile naturii, oglindite de mecanica cuantică. D. I. Blohințev denumește principiul complementarității o „formulare machistă a uneia dintre consecințele mecanicii cuantice"[1]. Principiul complementarității nu are nici o legătură cu conținutul real al mecanicii cuantice (nici cu principiile, nici cu consecințele ei), iar afirmația că acest principiu este o formulare greșită, idealistă, machistă a ceva corect, adevărat este în contradicție cu critica principiului complementarității pe care a dat-o D. I. Blohințev în articolul său.

Natura corpuscular-ondulatorie a microobiectelor se manifestă și în faptul că mărimile fizice ale mecanicii cuantice, de exemplu impulsul cuantic, coordonata cuantică, energia cuantică, se deosebesc de mărimile fizice corespunzătoare ale mecanicii clasice prin conținutul lor nou, după cum au arătat D. I. Blohințev, I. P. Terlețki, A. D. Aleksandrov[2]. Să ne oprim mai îndeaproape asupra acestei probleme.

În conformitate cu ideile școlii lui Bohr-Heisenberg, experimentînd în orice domeniu de fenomene ale naturii, inclusiv domeniul atomului, fizicianul nu folosește decît noțiunile fizicii clasice. În ceea ce privește aparatul matematic al mecanicii cuantice, acesta — din punctul de vedere al lui Bohr-Heisenberg — nu reflectă procesele obiective, ci are un caracter exclusiv simbolic; rolul său se reduce la a fi un mijloc pentru deducerea unor prognoze referitoare la rezultatele observațiilor obținute cu ajutorul unui aparat de o anumită clasă „complementară". De exemplu, Heisenberg afirmă:

„În orice experiment din fizica atomică, avem de-a face cu următoarea situație. Cu ajutorul unor aparate mai mult sau mai puțin complicate, punem naturii o întrebare, care se referă întotdeuna la un anumit proces obiectiv ce se petrece în spațiu și în timp. De exemplu, putem dori să aflăm dacă electronii

[1] *Filosofskie voprosî sovremennoi fiziki*, p. 367.

[2] Vezi A. D. Aleksandrov, „Vestnik Leningradskogo universiteta", nr. 4, 1949, p. 67.



vor nimeri într-un anumit loc. Din această situație, rezultă automat că, la cercetarea matematică a acestui proces, noi fixăm o delimitare precisă între aparate, privite de noi ca un mijloc auxiliar pentru punerea întrebării și aparținîndu-ne în acest fel — într-o anumită măsură — nouă înșine, și sistemul fizic despre care vrem să aflăm ceva. Pe acesta din urmă îl reprezentăm, din punct de vedere matematic, printr-o funcție de undă; în conformitate cu teoria cuantică, pentru ea există o ecuație diferențială, care determină starea viitoare a funcției de undă după starea ei din prezent. În opoziție cu aceasta, referitor la aparate, ne mulțumim cu legile care pot fi formulate în noțiuni clasice, ceea ce ne dă dreptul să utilizăm aceste aparate pentru măsurători"[1].

O asemenea abordare a problemei noțiunilor cuantice înseamnă, în realitate, recunoașterea tezei, pe care V. I. Lenin a caracterizat-o prin cuvintele: „Materia dispare, nu rămîn decît ecuațiile". Școala de la Copenhaga nu vede în relațiile matematice ale mecanicii cuantice conținutul obiectiv și real, independent de experimentator, nu vede în spatele acestor relații, relațiile specifice obiectiv-reale ale fenomenelor atomice. Pentru ea, a pune în evidență conținutul fizic al formalismului matematic al mecanicii cuantice este același lucru cu a asocia noțiunilor matematice care figurează în aparatul mecanicii cuantice noțiuni clasice, „limitate" în conformitate cu principiul complementarității. De aceea, după Heisenberg, atomul fizicii moderne „poate fi reprezentat numai simbolic, printr-o ecuație cu derivate parțiale într-un spațiu abstract cu mai multe dimensiuni; numai experimentele observatorului obligă atomul să ia o poziție determinată, o culoare și o cantitate de căldură determinate"[2].

O abordare corectă a problemei conținutului noțiunilor cuantice și a noțiunilor fizice poate fi numai aceea în care vedem în ecuațiile fizicii, în relațiile matematice relațiile și legăturile reale dintre fenomenele fizice.

Ce înseamnă literele din formulele mecanicii clasice? De exemplu, fizicianul american P. Bridgman afirmă că o ecuație din fizică „poate fi numai o ecuație între numere care reprezintă măsura unor mărimi"[3].

[1] W. Heisenberg, *Problemele filozofice ale fizicii atomice*, pp. 42—43.

[2] *Ibidem*, p. 32.

[3] P. W. Bridgman, *Analiza dimensională* L.—M., 1934, p. 46.

O astfel de concepţie a problemei este socotită de unii autori ca fiind unica ei înţelegere ştiinţifică. Pe alt punct de vedere se situează Wallot. În formula pentru viteza unei mişcări rectilinii şi uniforme, $v=s/t$, afirmă el, „literele $v$, $s$, $t$, reprezintă mărimi fizice, iar nu valorile lor numerice în raport cu anumite unităţi"[1].

Fără îndoială, Wallot este mai aproape de adevăr decît Bridgman. La acesta din urmă, mărimea fizică devine, în fond, o noţiune pur cantitativă şi, pornind de aici, putem s-o facem mai uşor un produs al măsurării (cum procedează Bridgman). Mărimile fizice nu sînt însă cantităţi matematice.

În formula $v=s/t$, — operăm cu exemplul lui Wallot, — literele reprezintă mărimi fizice, despre care fizicienii capătă informaţii, măsurîndu-le; în urma măsurătorii, este exprimată o mărime fizică şi deci rezultatul măsurătorii nu este un număr abstract, ci un număr concret. Aşadar, literele din formulele fizice reprezintă mărimi fizice exprimate în unităţi de măsură. Din acest punct de vedere, membrul al doilea al ecuaţiei $v=s/t$ nu înseamnă de loc că, de exemplu, un anumit număr de centimetri se împarte cu un anumit număr de secunde, sau că lungimea se împarte la timp; formula arată că există o relaţie între $v$, $s$, $t$ (indiferent dacă se măsoară sau nu mărimile corespunzătoare) şi că, dacă introducem unitatea derivată de viteză $[s/t]$, exprimată prin unităţile independente de lungime $[s]$, şi de timp $[t]$, atunci, măsurînd cu această unitate viteza, cercetătorul obţine un anumit număr de unităţi.

Aşadar, viteza se exprimă, în mecanica clasică, prin lungime şi prin timp, dar nu se reduce la ele. Pentru această expresie, se foloseşte relaţia care există între mărimile fizice de viteză, lungime şi timp. Expresia matematică (numerică) a vitezei este o funcţie de expresiile matematice ale lungimii şi timpului; forma funcţiei este stabilită pe baza unor considerente în care ultimul cuvînt îl are de spus experienţa. Măsurarea vitezei în mecanica clasică este tocmai găsirea pe cale experimentală a valorii funcţiei care exprimă această viteză.

Să trecem acum la mecanica cuantică. Expresia matematică a unei mărimi cuantice nu este o funcţie (ca în mecanica clasică), ci un operator linear autoadjunct. Faptul că operatorii mărimilor cuantice sînt lineari, exprimă, din punct de vedere matematic, un principiu fundamental al mecanicii cuantice, aşa-numitul principiu al superpoziţiei stărilor, care pune în evidenţă o proprietate fundamentală a ansamblelor cuantice. Mărimile cuantice sînt mărimi *sui generis;* ele nu se reduc la mărimi clasice, însă se exprimă la măsurare prin intermediul acestora. Forma operatorilor se stabileşte pornindu-se de la considerente fizice: de exemplu, fără ecuaţia de undă a lui Schrödinger, ar fi fost imposibil să se obţină operatorul impuls din mecanica cuantică.

Operatorii din mecanica cuantică se aplică funcţiilor de undă. După cum se ştie, funcţia de undă este caracteristica unui ansamblu cuantic. În legătură cu această particularitate distinctivă a ei, trebuie să atragem atenţia asupra următorului fapt. Întrucît matematica studiază formele spaţiale şi relaţiile cantitative ale lumii obiective, ea le desparte de conţinutul lor, după cum a subliniat încă Engels[1]. La fel procedează şi teoria matematică a statisticii şi calculul probabilităţilor, făcînd abstracţie, în relaţiile cantitative, de natura specifică a obiectelor studiate. De aceea, teoria matematică a statisticii poate renunţa, în particular, la noţiunea de ansamblu statistic[2]. Într-o teorie fizică însă, care are alt obiect decît o disciplină matematică, o astfel de separare a relaţiilor cantitative de conţinutul lor real este, în general, inadmisibilă; dacă această separare se admite în fizică, aceasta duce, în cele din urmă, la fetişizarea ecuaţiilor matematice, lucru de care apoi profită idealiştii.

În teoria cuantică, separarea relaţiilor probabiliste de microfenomenele ce au loc în proporţii de masă este practicată de şcoala lui Bohr-Heisenberg. Referind funcţia de undă la măsurarea unui microobiect individual, ea ignorează în fond specificul mărimii cuantice, care caracterizează un anumit fenomen de masă. Mărimile cuantice sînt inseparabil legate de ansamble cuantice; mai precis, noţiunea de mărime cuantică nu reflectă pur şi simplu o mărime, ci, totodată, şi un ansamblu cuantic. Corespunzător unor noţiuni matematice, cum sînt valoarea proprie sau valoarea medie ale unui operator, putem introduce noţiunile de valoare proprie şi de valoare medie ale unei mărimi cuantice.

În mecanica cuantică, se arată cum se poate calcula cunoscînd o funcţie de undă, valoarea proprie a unui operator (dacă această funcţie de undă este o funcţie proprie a operatorului)

[1] J. Z. Wallot, *Dimensionen, Einheiten, Massysteme,* § 5 (*Handbuch der Physik,* Bd. II. Herausgegeben von H. Geiger und K. Scheel, Springer, Berlin, 1922).



[1] Vezi F. Engels, *Anti-Dühring,* E.S.P.L.P., 1955, p. 48.

[2] Vezi, de exemplu, A. I. Hincin, *Matematiceskie osnovaniia kvantovoi statistiki,* M.—L., 1951, p. 21.

sau cum se poate calcula o valoare medie a unui operator (dacă această funcţie de undă nu este o funcţie proprie). Măsurarea unei mărimi cuantice este tocmai găsirea pe cale experimentală a valorii proprii sau medii a unei mărimi cuantice. Găsirea în experienţă a valorii proprii a unei mărimi cuantice se reprezintă nemijlocit ca măsurare a unei mărimi clasice (după cum măsurarea unei viteze se reprezintă nemijlocit ca măsurare a unei lungimi). Însă măsurarea unei mărimi cuantice sau a unei mărimi clasice nu sînt de loc procese identice, după cum nu sînt identice prin natura lor nici mărimile cuantice şi cele clasice.

O particularitate caracteristică a aparatului matematic al mecanicii cuantice stă în faptul că funcţiile de undă pot să nu fie funcţii proprii ale unui anumit operator. Aceasta este expresia matematică a faptului că microobiectele care formează un ansamblu cuantic posedă proprietăţi corpuscular-ondulatorii inseparabile. Unitatea proprietăţilor corpuscular-ondulatorii ale obiectelor îşi găseşte expresia şi în mărimile cuantice. Relaţiile dintre mărimile cuantice nu sînt identice prin conţinutul lor fizic cu relaţiile dintre mărimile clasice, fapt pe care îl exprimă aparatul matematic al mecanicii cuantice. De exemplu, formula operaţională $P_xX - XP_x = \frac{\hbar}{i}$ exprimă că relaţia dintre impulsul cuantic şi coordonata cuantică nu este deloc acelaşi lucru ca relaţia dintre impulsul clasic şi coordonata clasică.

Aşadar, dacă aparatul matematic al mecanicii clasice ne permite să calculăm valorile funcţiilor care exprimă matematic mărimile mecanicii clasice, aparatul matematic al mecanicii cuantice ne dă posibilitatea să calculăm valorile proprii şi medii ale operatorilor care exprimă mărimile cuantice. Simbolurile din formulele mecanicii cuantice, dacă relaţiile cuantice sînt date într-o formă operaţională, nu reprezintă mărimi matematice-operatori, ci mărimi cuantice. Acestea din urmă se exprimă matematic prin operatori, iar în procesul de măsurare, prin mărimi clasice.

Din punctul de vedere al poblemelor analizate în lucrarea de faţă, prezintă o mare importanţă acea concepţie a mecanicii cuantice, în spiritul căreia există păreri exprimate de către A. Einstein şi P. Langevin, concepţie care a fost studiată de către K. V. Nikolski şi a căpătat o formă dezvoltată în lucrările lui D. I. Blohinţev. Această concepţie consideră mecanica cuantică actuală, pornind de la ideea ansamblelor cuantice.

Concepţia ansamblelor cuantice, în care este exprimată teza că mecanica cuantică studiază legile unor microfenomene care au loc



în proporţii de masă, existente independent de om şi de aparatele sale de măsură, a distrus prejudecata concepţiei complementarităţii, după care mecanica cuantică ar fi o teorie a măsurării unui microobiect individual. În legătură cu aceasta, concepţia ansamblelor a infirmat tezele idealiste ale concepţiei complementarităţii (starea-categorie „instrumentală", „coordonarea" microobiectului şi a aparatului macroscopic, „necontrolabilitatea principială" etc.). Mecanica cuantică este expusă sistematic din punctul de vedere al acestei concepţii în cartea lui D. I. Blohinţev „Bazele mecanicii cuantice".

Concepţia ansamblelor nu exclude punerea problemei de a se crea o teorie a microproceselor individuale. „Ulterior pot apărea fenomene fizice noi, — scrie D. I. Blohinţev, — pe care acum nici nu sîntem în stare să le bănuim şi care poate vor permite să se construiască o teorie nestatistică a fenomenelor microscopice!"[1]. Însă problema posibilităţii de a se crea această teorie nu şi-a găsit încă o expresie destul de completă în expunerea mecanicii cuantice la D. I. Blohinţev.

De exemplu, nu putem decît să fim de acord cu D. I. Blohinţev, atunci cînd el scrie că relaţia de nedeterminare „se referă la un ansamblu de particule, şi nu la o singură particulă. În ce priveşte o singură particulă, din această relaţie pot fi trase numai concluzii indirecte"[2]. Blohinţev subliniază, mai departe: „Anume, se poate spune că fiecare localizare a particulei duce la o schimbare a impulsului ei, pe care mecanica cuantică o prevede în mod statistic. Această modificare a impulsului prin localizare face imposibilă aplicarea noţiunii de traiectorie la microparticule"[3].

Credem că, de pe acum, există materialul experimental corespunzător, pentru ca problema creării unei teorii nestatistice a microfenomenelor să poată fi pusă pe planul realităţii. În fizica modernă, se dezvoltă impetuos teoria cuantică a cîmpului[4]. Prin spiritul său (despre diferite trăsături concrete ale acestei teorii este greu să se vorbească precis, deoarece ea abia se constituie), această teorie presupune recunoaşterea existenţei reale a proprie-

[1] D. I. Blohinţev, *Bazele mecanicii cuantice*, p. 500, notă.
[2] *Ibidem*, p. 59.
[3] *Ibidem*.
[4] Vezi, de exemplu, I. Frenkel, *Zameceaniia k kvantovoi teorii materii;* D. I. Blohinţev, *Elementarnîe ceastiţi i pole*, UFN, vol. XLII, fasc. 1, 1950. Vezi şi A. Sokolov şi D. Ivanenko, *Teoria cuantică a cîmpului* şi culegerea *Noveişee razvitie kvantovoi elektrodinamiki*, sub redacţia lui D. D. Ivanenko, M., 1954.

tăţilor ondulatorii şi, totodată, corpusculare ale materiei, şi putem spera că ea va clarifica unele probleme pe care le rezolvă sau pe care nu le-a rezolvat încă mecanica cuantică.

Dar, chiar acum (cînd teoria cuantică a cîmpului nu există decît în forme preliminare), nu putem să nu menţionăm că însăşi posibilitatea construirii acestei teorii trebuie să-şi găsească expresia în mecanica cuantică şi, prin urmare, în concepţia ansamblelor cuantice. De ce oare, de exemplu, după cum arată D. I. Blohinţev, „modificarea impulsului prin localizare face imposibilă aplicarea noţiunii de traiectorie în cazul microparticulelor?" Nu se prezintă oare situaţia invers? Microobiectele sînt obiecte cărora le sînt inerente proprietăţi corpusculare şi ondulatorii inseparabile; este natural ca noţiunea de traiectorie din mecanica clasică să nu li se poată aplica; de aici rezultă că localizarea unui obiect îi modifică impulsul etc.

Mai departe, putem oare, din punctul de vedere al concepţiei ansamblelor, rezolva într-un mod mai complet problema esenţei fizice a funcţiei de undă? Concepţia ansamblelor a infirmat interpretarea funcţiei de undă ca o caracteristică a măsurării unui microobiect individual. După cum am arătat mai sus, funcţia de undă caracterizează un ansamblu cuantic, fiind deci o caracteristică obiectivă, iar nu una „instrumentală". Însă funcţia de undă figurează în mecanica cuantică ca o caracteristică statistică; de exemplu, pătratul modulului acestei funcţii $|\Psi|^2$ dă probabilitatea de a găsi coordonata unui microobiect. Deoarece funcţia de undă exprimă proprietăţile corpuscular-ondulatorii ale microobiectelor numai în mod statistic, se pune întrebarea în ce relaţie se află funcţia de undă cu esenţa mai profundă a proprietăţilor ondulatorii şi corpusculare inseparabile ale microfenomenelor. Această întrebare şi altele analoge depăşesc cadrul concepţiei ansamblelor şi deci al mecanicii cuantice. Însă din nou, posibilitatea rezolvării acestor probleme trebuie să-şi găsească o oglindire într-un fel în concepţia ansamblelor.

Ideea că natura microobiectelor constă în unitatea proprietăţilor lor corpusculare şi ondulatorii trebuie să devină, fără îndoială, ideea directoare a teoriei cuantice a cîmpului, care se creează acum şi, în particular, a mecanicii cuantice relativiste. Însă această idee nu-şi găseşte încă o expresie suficient de adecvată în actuala literatură de fizică. O dovedesc, de exemplu, articolele lui I. I. Frenkel şi D. I. Blohinţev despre „o teorie unitară de cîmp a materiei", publicate în revista „Uspehi fiziceskih nauk", în 1950—1951. Ambii autori recunosc existenţa reală a



cîmpului cuantic, ca formaţiune materială care nu seamănă cu cîmpul „clasic" — şi cu aceasta nu putem decît să fim de acord — subliniind însă totodată în mod unilateral aspectul de cîmp. Astfel, I. I. Frenkel scrie că obiectele microfizicii „nu sînt particule obişnuite (ceea ce este, bineînţeles, adevărat! — *M.O.*), ... ci forme ale materiei, calitativ diferite de acestea, şi anume cîmpuri cuantificate, adică nişte cîmpuri continue în spaţiu şi timp, *care se manifestă sub formă de efecte discrete* şi de care se leagă reprezentări de model ale particulelor, chiar dacă sînt considerate imuabile"[1]. După Frenkel, cîmpul este substratul, baza microproceselor, iar particulele nu sînt decît o manifestare a cîmpului. În acelaşi mod, la construirea teoriei sale, D. I. Blohinţev porneşte de la cîmp, ca entitate fundamentală, şi consideră particulele în diferite stări ca diferite tipuri de excitare a cîmpului[2].

Problemele filozofice ale mecanicii cuantice relativiste nu sînt discutate în lucrarea aceasta. Menţionăm numai că, după părerea noastră, concepţiile acestei teorii, de tipul „fondului inobservabil" de electroni şi a „fotonilor virtuali" etc. trebuie să fie analizate în modul cel mai atent, în lumina legăturii indistructibile a proprietăţilor corpusculare şi ondulatorii ale materiei.

În încheiere, să ilustrăm problema naturii statisticii cuantice cu cîteva păreri care, într-o anumită măsură, sintetizează cele spuse mai sus cu privire la funcţia de undă.

Obiectînd împotriva interpretării pe care o dă funcţiei de undă şcoala de la Copenhaga, Einstein a emis ideea de ansamblu statistic. „Funcţia $\Psi$ — scrie el — nu descrie în general o stare în care se poate găsi un sistem unic. Ea se referă mai degrabă la multe sisteme, la un ansamblu de sisteme, în sensul mecanicii statistice. Dacă, abstracţie făcînd de cazurile speciale, funcţia $\Psi$ ne dă numai informaţii statistice cu privire la mărimile măsurate, cauza nu rezidă în faptul că *procesul de măsurare* introduce elemente necunoscute care pot fi concepute numai statistic, ci tocmai în faptul că funcţia $\Psi$ nu descrie nicidecum starea unui sistem unic. Ecuaţia lui Schrödinger determină variaţia în

[1] I. I. Frenkel, UFN, vol. XLII, fasc. 1, 1950, p. 73 (sublinierea îmi aparţine. — M.O.).

[2] *Ibidem*, p. 81.

timp a unui ansamblu de sisteme, în prezența unor acțiuni exterioare asupra unui sistem individual, sau fără ele"[1].

În cartea „Evoluția fizicii", ilustrînd aceste idei cu ajutorul experimentului de difracție cu două deschideri, Einstein și Infeld ajung la următoarea concluzie: „Noi nu știm de ce electronii individuali aleg o deschidere sau cealaltă, însă rezultatul final al unei serii întregi de experimente trebuie să arate că ambele deschideri lasă să treacă electronii de la sursă la ecran. Dacă stabilim numai ce se produce cu ansamblul electronilor atunci cînd experimentul se repetă, fără să acordăm atenție comportării particulelor individuale, atunci deosebirea dintre cele două figuri — inelele de difracție și franjele de difracție — devine explicabilă. Considerarea unui șir de experimente a dus la noua idee a unui ansamblu format din individualități a căror comportare nu poate fi prevăzută"[2].

La fel ca Bohr și Heisenberg, Dirac ia poziție împotriva ideii de ansamblu statistic. În special, în legătură cu exemplul expus mai sus al lui Einstein, putem cita următoarea afirmație a lui Dirac relativ la comportarea fotonilor, care însă, după cum observă Dirac, este valabilă și pentru comportarea electronilor:

„Faptul că legătura dintre fotoni și undele luminoase trebuie să aibă un caracter statistic era înțeles de fizicieni încă înainte de descoperirea mecanicii cuantice. Însă ei nu-și reprezentau încă destul de clar că funcția de undă determină probabilitatea de a găsi un singur foton într-un loc dat, iar nu numărul probabil de fotoni în acest loc. Putem înțelege în modul următor de ce este important să facem distincție între aceste două idei: să presupunem că un fascicol luminos, format dintr-un număr mare de fotoni, este împărțit în două componente de egală intensitate. Dacă admitem că intensitatea fascicolului este legată de numărul probabil de fotoni din el, rezultă că fiecare componentă conține jumătate din numărul total de fotoni. Pentru a putea face cele două componente să interfere, trebuie ca fotonii dintr-o componentă să poată interfera cu fotonii din cealaltă componentă. În unele cazuri, aceşti fotoni s-ar anihila reciproc, iar în altele, s-ar transforma în patru fotoni. Aceasta ar contrazice legea conservării energiei. Noua teorie, care leagă funcția de undă de probabilitățile referitoare la un singur foton, învinge

[1] A. Einstein, *Fizica și realitatea*, în „Pod znamenem marksisma", nr. 11—12, 1937, p. 126.

[2] A. Einstein și L. Infeld, *Evoluția fizicii*, p. 251.



această dificultate, obligînd fiecare foton să intre parțial într-o componentă și parțial în cealaltă. Fiecare foton nu interferă decît cu sine. Interferența între doi fotoni diferiți nu se produce niciodată"[1].

Și Einstein și Dirac — fiecare într-un anumit sens — au dreptate; în afirmațiile lor, citate mai sus, există neîndoios o parte de adevăr. Einstein are dreptate, atunci cînd arată că funcția de undă se referă la un ansamblu statistic de microobiecte, nu la un microobiect individual; Dirac are dreptate, atunci cînd afirmă că fiecare foton interferă numai cu el însuși, interferența a doi fotoni diferiți neproducîndu-se niciodată. Însă o parte din adevăr nu este încă tot adevărul. Este adevărat că funcția de undă se referă la un ansamblu statistic, după cum afirmă Einstein, însă el nu vede, în fond, deosebirea radicală dintre ansamblul statistic clasic și ansamblul statistic cuantic; Einstein nu vede deosebirea dintre legile statistice ale fizicii clasice și cele ale mecanicii cuantice decît în faptul că, în fizica clasică, legile statistice cărora le este supusă comportarea ansamblelor se obțin pe baza legilor individuale, pe cînd în mecanica cuantică, legile statistice apar — s-ar putea zice — direct, ocolind legile individuale. Pe de altă parte, are dreptate Dirac, cînd vorbește despre interferența unui microobiect cu el însuși, dar nu are dreptate, atunci cînd, din acest motiv, el „supune" electronul individual numai probabilității pure (cu atît mai mult, cu cît nu putem obține experimental de la un singur microobiect o imagine de difracție).

Să rezumăm oarecum cele spuse. Funcția de undă exprimă statistic proprietățile corpuscular-ondulatorii inseparabile ale microobiectelor, fiind deci o caracteristică obiectivă referitoare la un ansamblu cuantic, nu una „instrumentală". Concepția ansamblelor cuantice corespunde conținutului mecanicii cuantice și asigură posibilitatea unei dezvoltări ulterioare fructuoase a teoriei microfenomenelor. Principiul complementarității este un principiu subiectivist în mecanica cuantică. El îi denaturează conținutul, negînd posibilitatea de a înțelege fenomenele atomice ca mișcare în spațiu și în timp a materiei, conform unor legi, și mulțumindu-se să descrie fenomenele atomice în noțiunile fizicii clasice.

[1] P. Dirac, *Elemente de mecanică cuantică*, p. 17.

## 2. Despre relaţia de nedeterminare în mecanica cuantică

Se afirmă, de obicei, că relaţia de nedeterminare pentru impuls şi coordonată, descoperită pentru prima dată de Heisenberg şi dedusă din aparatul matematic al mecanicii cuantice (funcţii de undă, operatori etc.) şi relaţia considerată de Bohr şi Heisenberg ca „principiu al nedeterminării", fundată pe anumite experimente mintale asupra unui microobiect individual, ar avea acelaşi sens fizic. Acest lucru este admis de către şcoala de la Copenhaga ca ceva de la sine înţeles. Heisenberg, în particular, observă că el nu vede nici o deosebire în conţinutul matematic al celor două deduceri[1], iar „interpretarea fizică" pe care Heisenberg o dă aparatului matematic al mecanicii cuantice urmează, după cum se ştie, linia ideii complementarităţii.

Această problemă a fost lăsată în umbră de către fizicienii materialişti, adversari ai şcolii de la Copenhaga. Astfel, D. I. Blohinţev, arătînd că relaţia de nedeterminare a fost stabilită pentru prima dată de către Heisenberg, nu menţionează că acesta vorbeşte, de fapt, despre „două" relaţii pentru impuls şi coordonată, deşi el singur nu le deosebeşte[2].

Nici această problemă nu a fost analizată complet în lucrările fizicienilor sovietici. De exemplu, în articolul meu „Împotriva idealismului şi a şovăielilor idealiste în mecanica cuantică", afirmam că principiul nedeterminării este relaţia de nedeterminare, ridicată de către şcoala lui Bohr la rangul de principiu, însă nu arătam precis care este semnificaţia dată — în cazul de faţă — de şcoala de la Copenhaga relaţiei de nedeterminare, nu-i făceam analiza dezvoltată, deşi menţionam că analiza filozofică a deducerii relaţiei de nedeterminare este deosebit de importantă[3].

În acest paragraf, vom arăta că relaţia de nedeterminare, dedusă cu ajutorul funcţiei de undă, şi relaţia care este fundată de către şcoala de la Copenhaga pe consideraţii referitoare la anumite experimente mintale asupra unui microobiect individual nu sînt nicidecum unul şi acelaşi lucru. Relaţia de nedeterminare, dedusă cu ajutorul funcţiei de undă, caracterizează proprietăţile microobiectelor în ceea ce le deosebeşte de proprietăţile obiectelor macroscopice şi se referă la un ansamblu cuantic. Relaţia

[1] Vezi W. Heisenberg, *Principiile fizice ale teoriei cuantice*, p. 20.
[2] Vezi D. I. Blohinţev, *Bazele mecanicii cuantice*, pp. 56—57, passim.
[3] Vezi „Voprosî filosofii", nr. 4, 1951, p. 152.



cealaltă fundată de către Bohr şi Heisenberg prin analiza unor experimente mintale şi pe care o vom numi relaţia lui Heisenberg, nu are sens fizic şi reprezintă un „principiu" care întunecă conţinutul mecanicii cuantice în spiritul concepţiei subiectiviste a complementarităţii.

* * *

Relaţia lui Heisenberg $\Delta x \, \Delta p_x \sim \hbar$ (unde $\Delta x$ este nedeterminarea în măsurarea coordonatei unui microobiect la un anumit moment, $\Delta p_x$ nedeterminarea în măsurarea componentei corespunzătoare a impulsului microobiectului, la acelaşi moment, iar $\hbar$ constanta lui Planck, împărţită cu $2\pi$)[1] reprezintă principiul nedeterminării, pe care se sprijină interpretarea mecanicii cuantice, dată de şcoala de la Copenhaga. Principiul nedeterminării presupune recunoaşterea necesităţii de a aplica microfenomenelor noţiunile mecanicii clasice, dar de a le aplica în mod limitat; relaţia $\Delta x \Delta p_x \sim \hbar$ şi cele asemănătoare „dau tocmai gradul de alterare al noţiunilor clasice", care — după cum afirmă Heisenberg — ar fi necesar „pentru descrierea necontradictorie a proceselor atomice"[2].

După cum am menţionat mai sus, relaţia lui Heisenberg nu se deduce direct din aparatul matematic al mecanicii cuantice, ci se fundează pe consideraţii referitoare la anumite experimente mintale. În aceste consideraţii, principalul rol revine comparării noţiunilor corpusculare şi ondulatorii clasice, aplicate la obiecte atomice individuale. Pentru a ilustra mai concret situaţia, să examinăm două experimente mintale cunoscute ale şcolii de la Copenhaga.

**„Microscopul lui Heisenberg".** Putem determina coordonata unui electron, iluminîndu-l şi observîndu-l la microscop. Cu cît lungimea undei luminoase este mai mică, cu atît determinăm mai precis coordonata; în principiu, putem construi un „microscop" pentru raze $\gamma$ şi determina oricît de precis coordonata: nedeterminarea $\Delta x$ în valoarea coordonatei va avea ordinul de mărime al lungimii de undă $\lambda$, adică $\Delta x \sim \lambda$. Însă o cuantă a acestei lumini are impulsul $\hbar/\lambda$, care este transmis electronului în momentul reflexiei luminii pe electron; viteza acestuia din urmă suferă un salt, care introduce nedeterminarea $\Delta p_x \sim \hbar/\lambda$ în impulsul lui iniţial. Ca rezultat, mărirea preciziei

[1] Relaţii analoge există şi pentru celelalte componente.
[2] W. Heisenberg, *Principiile fizice ale teoriei cuantice*, p. 11.

în determinarea coordonatei electronului duce la micşorarea preciziei în determinarea impulsului: $\Delta x \Delta p_x \sim h$.

**Fanta de difracţie.** Un electron, de impuls $p$, trece printr-o fantă verticală $d$. Îngustînd fanta, putem determina coordonata electronului în direcţia fantei şi, prin urmare, imprecizia în determinarea coordonatei electronului va fi $\Delta x \sim d$. Însă trecînd prin fantă, electronul (datorită difracţiei electronilor) capătă un impuls suplimentar în direcţia fantei, $\Delta p_x \sim p \frac{\lambda}{d}$, unde $\lambda$ este lungimea de undă corespunzătoare impulsului electronului conform ecuaţiei lui de Broglie, $\lambda \sim h/p$. Obţinem din nou $\Delta x \Delta p_x \sim h$.

„Teoria" acestor experimente mintale şi a altora analoge ale şcolii de la Copenhaga, se caracterizează prin alăturarea noţiunilor corpusculare şi ondulatorii clasice, aplicate la un microobiect individual (sau, după cum se exprimă Heisenberg, aplicarea „dualismului imaginii corpusculare şi al celei ondulatorii"). Conţinutul real al acestei „confruntări" apare în deducerea de către Bohr a relaţiei $\Delta x \Delta p_x \sim h$. Propriu-zis, această deducere este ilustrată prin experimente mintale de tipul celor citate mai sus.

Deducînd relaţia $\Delta x \Delta p_x \sim h$, Bohr ia drept punct de plecare al consideraţiilor sale relaţiile ondulatorii generale (pachetul de unde este analizat după Fourier) şi le interpretează din punctul de vedere al noţiunilor corpusculare (aplicînd ecuaţia lui de Broglie). Bineînţeles, aceasta nu înseamnă că Bohr ar reduce noţiunile ondulatorii la cele corpusculare (de exemplu, că ar trata un pachet de unde îngust ca pe o particulă). Atunci cînd Bohr interpretează relaţiile ondulatorii din punct de vedere corpuscular, aceasta înseamnă că noţiunile corpusculare ale teoriei clasice sînt utilizate în aşa mod, încît această utilizare să coincidă cu cerinţele teoriei ondulatorii clasice. Cu alte cuvinte, Bohr impune restricţii în folosirea noţiunilor corpusculare, prin relaţii ondulatorii; relaţia $\Delta x \Delta p_x \sim h$ se obţine ca măsură a acestei restricţii. Ne putem convinge în cazul de faţă, o dată mai mult, că „dualismul imaginii corpusculare şi al celei ondulatorii", despre care scrie Heisenberg şi care, considerat superficial, ar putea părea „dialectic", nu are în realitate nimic comun cu dialectica proprietăţilor corpuscular-ondulatorii ale unui microobiect.

În experimentele mintale citate mai sus, conţinutul şi fundarea deducerii relaţiei $\Delta x \Delta p_x \sim h$ apar cu suficientă claritate. În experimentul mintal cu „microscopul lui Heisenberg", legile ondulatorii ale opticii sînt interpretate „din punct de vedere



corpuscular" şi, pentru aceasta, este folosită ideea cuantelor de lumină. În experimentul mintal cu fanta de difracţie, este interpretat din punct de vedere corpuscular fenomenul ondulator al difracţiei electronilor. Faptul că relaţia $\Delta x \Delta p_x \sim h$ a fost descoperită tocmai pe această cale, independentă de aparatul matematic al mecanicii cuantice, este relatat de însuşi Heisenberg, în expunerea sa „Cincizeci de ani de teorie cuantică". În 1927, spune el, „m-a preocupat în mod deosebit un experiment mintal: de ce nu putem observa orbita unui electron din atom cu ajutorul unui microscop cu mare putere de rezolvare, de exemplu al unui microscop care să fie capabil să dea o imagine în raze $\gamma$? Discutarea acestui experiment şi alte considerente m-au condus destul de repede la aşa-numita relaţie de nedeterminare"[1].

Aşadar, deducerea şi fundarea relaţiei $\Delta x \Delta p_x \sim h$ nu au nici o legătură cu aparatul matematic al mecanicii cuantice şi sînt, ca să zicem aşa, de natură „precuantică". După cum vom stabili mai jos, însuşi conţinutul mecanicii cuantice exclude relaţia lui Heisenberg.

Să dăm exemple de interpretare a relaţiei de nedeterminare de către reprezentanţii şcolii de la Copenhaga.

Relaţia de nedeterminare este considerată ca un principiu care fixează limitele de aplicabilitate ale noţiunii de împărţire în obiect şi aparat, luată din fizica clasică (Heisenberg şi Bohr)[2].

Relaţia de nedeterminare exprimă caracterul limitat al aplicabilităţii concepţiei clasice de corpuscul la lumină şi substanţă (Pauli)[3]. Reamintim că, înţeleasă în acest mod, relaţia de nedeterminare este ridicată la Pauli la rangul de principiu, necesar pentru introducerea necontradictorie a concepţiilor corpusculare în fizica atomică.

Relaţia de nedeterminare reprezintă măsura interacţiei necontrolabile dintre obiect şi aparat (Bohr)[4].

Dacă raportăm toate aceste interpretări ale relaţiei de nedeterminare la relaţia lui Heisenberg, atunci nu putem decît să fim de acord cu ele, însă tocmai de aceea relaţia lui Heisenberg nu este o lege a naturii şi nu are nici o legătură cu conţinutul real al mecanicii cuantice. Relaţia $\Delta x \Delta p_x \sim h$ (pe care şcoala lui Bohr nu

---

[1] W. Heisenberg, *Problemele filozofice ale fizicii atomice*, p. 117.

[2] Vezi, de exemplu W. Heisenberg, *Principiile fizice ale teoriei cuantice*, pp. 10, 51—52.

[3] Vezi W. Pauli, *Principiile generale ale mecanicii ondulatorii*, pp. 11—12.

[4] Vezi, de exemplu, N. Bohr, „Dialectica", 1948, 7/8.

o deosebeşte de relaţia de nedeterminare) exprimă un principiu pe care şcoala de la Copenhaga îl pune la baza mecanicii cuantice şi a cărui semnificaţie constă în stabilirea limitelor în care noţiunile fizicii clasice pot fi aplicate în mod necontradictoriu în domeniul atomic. Acesta este sensul în care Heisenberg denumeşte relaţia de nedeterminare o „lege a naturii". Relaţia de nedeterminare este în adevăr o lege a naturii, însă nicidecum în sensul pe care i-l dă Heisenberg; despre aceasta vom vorbi mai jos. Interpretarea dată de Heisenberg relaţiei de nedeterminare merge pe linia principiului complementarităţii şi de această interpretare se leagă organic faptul că relaţia $\Delta x \Delta p_x \sim \hbar$ este dedusă independent de aparatul matematic al mecanicii cuantice.

Din relaţia $\Delta x \Delta p_x \sim \hbar$, nu putem deduce principiile fundamentale ale mecanicii cuantice; în expunerile corespunzătoare, sînt numai puse în concordanţă cu această relaţie faptele şi aparatul matematic al mecanicii cuantice şi această punere în concordanţă este denumită interpretarea fizică a formalismului matematic al teoriei. W. Pauli, de exemplu, arată că afirmaţia după care starea unei microparticule s-ar caracteriza prin intermediul noţiunii de probabilitate nu este o consecinţă a relaţiei $\Delta x \Delta p_x \sim \hbar$[1].

Principiul nedeterminării este o încercare de a încadra cu forţa în noţiunile mecanicii clasice datele experimentale privitoare la proprietăţile corpusculare şi ondulatorii ale obiectelor atomice, o încercare care, în realitate, înseamnă negarea caracterului obiectiv al acestor proprietăţi inseparabile. Atunci cînd se afirmă că relaţia $\Delta x \Delta p_x \sim \hbar$ se referă la măsurarea unui microobiect, la un experiment efectuat cu un electron etc., trebuie să avem în vedere că această „măsurare" şi acest „experiment" nu reprezintă în fond experimente fizice, ci nimic altceva decît experimentele mintale ale lui Heisenberg, dintre care unele au fost examinate mai sus. Din punctul de vedere al ideilor lui Bohr şi Heisenberg, o mărime cuantică este o caracteristică cantitativă a interacţiei necontrolabile dintre obiect şi aparat. Această concepţie a mărimii cuantice este legată în mod intrinsec şi necesar de relaţia lui Heisenberg.

Să ne oprim la un amănunt al problemei „interacţiei necontrolabile", în legătură cu relaţia $\Delta x \Delta p_x \sim \hbar$.

În cartea sa „Principiile mecanicii cuantice", V. A. Fok scrie: „Nu ne ocupăm de loc... de problema rolului pe care-l joacă timpul în procesul de măsurare, şi presupunem că orice mărime fizică poate fi măsurată într-un interval de timp oricît de scurt,

[1] W. Pauli, *Principiile generale ale mecanicii ondulatorii*, p. 22.



astfel că are sens să vorbim despre valoarea ei la un moment determinat"[1].

Din punctul de vedere al principiului nedeterminării, această afirmaţie cere completări substanţiale, care, după cum vom arăta imediat, vor desvălui şi mai adînc caracterul subiectivist al ideii de „necontrolabilitate".

Să presupunem că, la momentul $t_1$, măsurarea coordonatei unei particule care se mişcă rectiliniu şi uniform dă valoarea $x_1$, iar într-un moment ulterior $t_2$, măsurarea impulsului aceleiaşi particule dă valoarea $p_2$. Atunci, la momentul $t_2$, putem calcula coordonata $x_2$ a particulei, în conformitate cu ecuaţia $x_2 = x_1 + (t_2 - t_1)p_2/m$, unde $m$ este masa particulei. Obţinem, deci că, la momentul $t_2$ putem determina atît impulsul cît şi coordonata particulei, ceea ce contrazice relaţia lui Heisenberg. Aici apare însă „necontrolabilitatea": se afirmă că măsurarea impulsului la momentul $t_2$ desfiinţează, ca să zicem aşa, informaţiile despre coordonata la momentul $t_2$, calculate cu ajutorul aceleiaşi măsurări a impulsului în acelaşi moment. Prin urmare, măsurînd impulsul la momentul $t_2$, coordonata la acelaşi moment capătă o nedeterminare $\Delta x$, ceea ce presupune că, în decursul intervalului de timp $\Delta t$ în care s-a măsurat impulsul, viteza particulei a variat la un anumit moment, de la $v_1$ la $v_2$. Aşadar, satisfacerea relaţiei $\Delta x \Delta p_x \sim \hbar$ la măsurătorile corespunzătoare ale particulei presupune variaţia impulsului în timpul măsurării sale; adică, la măsurarea impulsului, nu putem face abstracţie de timpul în care această măsurare se efectuează.

Acest exemplu ne arată că relaţia lui Heisenberg cere, pentru a fi îndeplinită, anumite condiţii preliminare. Ele sînt date de relaţia $(v_1 - v_2) \triangle p \triangle t \sim \hbar$, dedusă de Landau şi Peierls din relaţia $\Delta (E_1 - E_2) \Delta t \sim \hbar$, unde $\Delta t$ reprezintă durata măsurării, iar $E_1$ şi $E_2$ valorile energiei particulei, înainte şi după măsurătoare. Această din urmă relaţie, denumită de către N. S. Krîlov şi V. A. Fok relaţia lui Bohr, nu se deduce direct — cum au arătat aceiaşi autori — din aparatul matematic al mecanicii cuantice[2] şi, sub acest aspect, ea este deci asemănătoare cu relaţia lui Heisenberg.

Relaţia lui Bohr, afirmă N. S. Krîlov şi V. A. Fok, se referă la procesul de măsurare, la un experiment cu un obiect individual; aceasta înseamnă, în fond, că critica noastră a relaţiei lui

[1] V. A. Fok, *Naceala kvantovoi mehaniki*, L., 1932, p. 10.

[2] Vezi N. S. Krîlov şi V. A. Fok, *O dvuh osnovnîh tolkovaniiah sootnoşeniia neopredelennosti dlea energhii i vremeni*, „Jurnal eksperimentalnoi i teoreticeskoi fiziki" (prescurtat, în cele ce urmează, JETF), vol. 17, fasc. 2, 1947.

Heisenberg este valabilă în întregime şi pentru relaţia lui Bohr. Nu putem fi de acord cu afirmaţia lui N. S. Krîlov şi V. A. Fok, că relaţia lui Bohr ar lega schema matematică a mecanicii cuantice de experienţă şi că, fără această relaţie, mecanica cuantică ar rămîne suspendată în aer[1]. În realitate, în această afirmaţie nu este propriu-zis vorba de un experiment fizic asupra microobiectelor, ale cărui rezultate îşi găsesc o expresie în noţiunile mecanicii cuantice, ci de faptul că aşa-numita măsurare directă în mecanica cuantică (care este identică cu interacţia necontrolabilă dintre obiect şi aparat) înseamnă reducerea mărimilor cuantice la mărimi clasice.

Relaţia lui Bohr a fost dedusă de N. S. Krîlov şi V. A. Fok independent de aparatul matematic al mecanicii cuantice. Tot ei au arătat că încercarea de a deduce această relaţie utilizînd aparatul mecanicii cuantice, aşa cum au făcut-o Landau şi Peierls, este greşită[2]. În aceasta rezidă valoarea consideraţiilor şi deducţiilor lui V. A. Fok şi N. S. Krîlov. Prin aceasta, ei au arătat, în mod indirect, că este greşit de a deduce şi relaţia lui Heisenberg din ecuaţiile mecanicii cuantice, întrucît relaţia lui Bohr şi relaţia lui Heisenberg sînt intim legate între ele. Nu putem fi însă de acord cu afirmaţia lui N. S. Krîlov şi V. A. Fok că relaţia lui Bohr ar reprezenta un principiu fizic, care fundamentează mecanica cuantică[3]. Relaţia lui Bohr nu-şi găseşte doar nici o expresie în aparatul matematic al mecanicii cuantice.

Că relaţia lui Heisenberg nu este legată intrinsec de conţinutul mecanicii cuantice ne putem da seama şi din următoarele. Se obişnuieşte să se afirme că relaţia $\Delta x \, \Delta p_x \sim \hbar$ nu s-ar referi la trecut, ci la viitor[4], adică această relaţie ar permite să calculăm trecutul unei particule care se mişcă, dar pune sub interdicţie calculul viitorului acestei particule (aceasta rezultă, de altfel, şi din exemplul de la p. 67). La aceasta se adaugă însă că această cunoaştere a trecutului are un rol pur speculativ, deoarece ea nu joacă, în genere, nici un rol în vreun experiment de fizică.

Fără a intra în toate aceste consideraţii, — din punctul de vedere al ideilor lui Bohr-Heisenberg, ele sînt perfect logice, — vom sublinia numai un singur lucru. Din aparatul matematic al

[1] N. S. Krîlov, şi V. A. Fok, JETF, vol. 17, fasc. 2, 1947, p. 95.
[2] *Ibidem*, pp. 95—97.
[3] *Ibidem*, p. 94.
[4] Vezi, de exemplu, W. Heisenberg, *Principiile fizice ale teoriei cuantice*, p. 21.



mecanicii cuantice, nu rezultă de loc caracterul, ca să zicem aşa, asimetric al relaţiei de nedeterminare în raport cu trecutul şi cu viitorul. Or, acest din urmă fapt ne arată că relaţia de nedeterminare şi relaţia lui Heisenberg sînt afirmaţii absolut diferite şi că este o greşeală să le identificăm.

* * *

V. A. Fok afirmă că relaţia pe care am denumit-o relaţia lui Heisenberg poate fi dedusă din consideraţii elementare, independent de aparatul matematic al mecanicii cuantice. Noi sîntem întru totul de acord cu aceasta. În acelaşi timp, V. A. Fok arată că însuşi aparatul matematic al mecanicii cuantice este construit în aşa fel, încît „ţine seamă în mod automat de relaţia de nedeterminare"[1], adică de relaţia lui Heisenberg. Cu această afirmaţie a lui V. A. Fok nu mai putem fi de acord. Relaţia pe care V. A. Fok o denumeşte relaţia de nedeterminare — şi care este, în realitate, relaţia lui Heisenberg — nu este conţinută în aparatul matematic al mecanicii cuantice, din care cauză acesta nu poate „ţine seamă în mod automat de ea". În aparatul matematic al mecanicii cuantice, este conţinută relaţia de nedeterminare, care nu are nimic comun cu relaţia lui Heisenberg. Ne vom opri special la această problemă.

Cum se deduce relaţia de nedeterminare din aparatul matematic al mecanicii cuantice şi care este sensul ei fizic?

Această deducţie este dată în tratatele corespunzătoare de mecanică cuantică (de exemplu, în cartea lui D. I. Blohinţev); ea se găseşte şi în cartea lui Heisenberg „Principiile fizice ale teoriei cuantice" (1932, pp. 17—20). Partea principală a acestei deducţii constă în următoarele: se consideră funcţia de undă, de a cărei noţiune este strîns legat un principiu fundamental al mecanicii cuantice, principiul superpoziţiei stărilor; din proprietăţile funcţiei de undă şi din interpretarea ei statistică, se poate deduce, cu ajutorul principiului superpoziţiei, relaţia $\Delta x \, \Delta p_x \geqslant \frac{\hbar}{2}$, unde $\Delta x$ este împrăştierea cordonatei, iar $\Delta p_x$ împrăştierea componentei impulsului. Aceasta este relaţia de nedeterminare.

Spre deosebire de relaţia lui Heisenberg (care, după părerea şcolii de la Copenhaga, reprezintă principiul de pornire pentru „fizicalizarea" funcţiei de undă), relaţia de nedeterminare se

[1] V. A. Fok, „Vestnik Leningradskogo universiteta", nr. 4, 1949, p. 39.

deduce din funcţia de undă şi, prin urmare, ea îşi capătă semnificaţia fizică în funcţie de semnificaţia fizică a acesteia din urmă. Astfel, pornind de la relaţia lui Heisenberg, şcoala de la Copenhaga vede justificarea caracterului statistic al mecanicii cuantice în „interacţia necontrolabilă". Fizicianul materialist respinge o astfel de fundare a caracterului statistic al mecanicii cuantice: pentru el, nu încape îndoială că aparatul matematic al mecanicii cuantice şi semnificaţia lui fizică sînt inseparabile. La rezolvarea problemei semnificaţiei fizice a relaţiilor matematice din mecanica cuantică, drept punct de plecare nu trebuie luate experimentele mintale ale şcolii de la Copenhaga, nici încercările de a interpreta aceste relaţii cu ajutorul noţiunilor corpusculare etc., ci recunoaşterea faptului că relaţiile matematice ale mecanicii cuantice reflectă materia în mişcare, mişcarea electronilor şi a altor microobiecte, care se aseamănă întrucîtva cu mişcarea corpusculelor şi cu propagarea undelor şi, în acelaşi timp, este radical deosebită de ele.

Mecanica cuantică reflectă în mod statistic proprietăţile corpuscular-ondulatorii ale microobiectelor. Aceasta înseamnă că legile mecanicii cuantice sînt legile unui număr mare de microfenomene, adică mecanica cuantică nu este statistică pentru că microobiectul este coordonat cu un „obiect clasic", ci pentru că există microfenomene ce au loc în proporţii de masă, ca difracţia electronilor, spectrele, radiaţia termică etc., ale căror legi le reflectă. În mecanica cuantică ca teorie statistică, se aplică noţiunea de ansamblu statistic. Ansamblul statistic din mecanica cuantică, sau — ceea ce este acelaşi lucru — ansamblul cuantic, nu este „un colectiv de rezultate de măsurători", nici „un colectiv de experimente", cum afirmă unii autori. Ansamblul cuantic are o existenţă obiectivă, independentă de diferitele măsurători şi experimente. De exemplu, mulţimea electronilor emişi dintr-un tun electronic (el realizează condiţiile determinate, care sînt necesare pentru existenţa ansamblului) formează un ansamblu cuantic, caracterizat printr-o funcţie de undă de forma undei lui de Broglie.

Faptul experimental că microobiectele au proprietăţi corpusculare şi ondulatorii inseparabile este exprimat, în mecanica cuantică, în aceea că probabilităţile ei şi mediile ei statistice, spre deosebire de noţiunile statistice ale fizicii clasice, sînt caracterizate cu ajutorul funcţiilor de undă şi al operatorilor. În această particularitate a mecanicii cuantice, se reflectă specificul an-



samblului cuantic, care-l deosebeşte de ansamblul clasic şi care constă în existenţa relaţiei de nedeterminare.

Relaţia de nedeterminare (ca proprietate a ansamblului cuantic, în care este exprimată deosebirea dintre ansamblul cuantic şi cel clasic), privită sub aspectul formei ei matematice, rezultă din particularităţile funcţiei de undă, care caracterizează ansamblul cuantic, şi ale operatorilor, care caracterizează din punct de vedere matematic mărimile cuantice. În mecanica cuantică, se demonstrează că, dacă doi operatori comută, ei au funcţii de undă comune şi deci valorile proprii ale acestor operatori sînt compatibile; dacă însă operatorii nu comută, atunci ei nu au funcţii proprii comune şi, prin urmare, valorile proprii ale operatorilor sînt incompatibile. După cum se ştie, operatorul coordonatei nu comută cu operatorul impulsului: $P_x X - X P_x = \frac{\hbar}{i}$, unde $P_x$ este operatorul componentei corespunzătoare a impulsului, iar $X$ operatorul coordonatei. Prin urmare, valorile proprii ale acestor operatori sînt incompatibile, iar aceasta este tocmai relaţia de nedeterminare.

Expresia $P_x X - X P_x = \frac{\hbar}{i}$ este, aşadar, o formulare operaţională a relaţiei de nedeterminare; ea este adecvată conţinutului mecanicii cuantice şi arată clar că mărimile cuantice (de exemplu, coordonata cuantică şi impulsul cuantic) se deosebesc de mărimile clasice analoge (coordonata şi impulsul). Din formularea operaţională a relaţiei de nedeterminare, poate fi dedusă pe cale matematică formularea de mai sus a acestei relaţii: $\Delta x \, \Delta p_x \geqslant \frac{\hbar}{2}$.

Menţionăm din nou că mărimile cuantice nu sînt identice cu mărimile clasice. Pentru măsurarea mărimilor cuantice, se folosesc mărimi clasice, însă mărimile cuantice sînt mărimi *sui generis*. Totodată, mărimile cuantice au proprietăţi asemănătoare cu proprietăţile mărimilor clasice (aceasta justifică denumirile de „energia cuantică" de „impuls cuantic" etc.). Acest din urmă fapt rezultă din teorema lui Ehrenfest şi din aşa-numitele ecuaţii de mişcare cuantice, conform cărora ecuaţiile din mecanica cuantică pentru operatori şi pentru valorile lor medii au forma ecuaţiilor mecanicii clasice. Asemănarea existentă între mărimile cuantice şi cele clasice ne ajută să înţelegem de ce, la măsurare, mărimile cuantice se exprimă prin mărimi clasice. Pe de altă parte, din această analogie, nu rezultă identitatea

mărimilor cuantice şi a celor clasice, lucru pe care l-am semnalat mai sus, în altă ordine de idei; astfel, din legea a doua a lui Newton, pentru valorile medii ale coordonatelor şi a gradientului energiei potenţiale, obţinem ecuaţia de undă şi regulile de comutare, numai atunci cînd adăugăm condiţia ca starea unei particule să fie caracterizată prin funcţia de undă şi ca oricărei mărimi fizice să-i asociem un operator autoadjunct[1].

Mecanica cuantică determină limitele de aplicabilitate ale mecanicii clasice şi ale noţiunilor ei. Relaţia de nedeterminare stabileşte, în particular, limitele de aplicabilitate ale noţiunii clasice de particulă la fenomenele fizice şi arată astfel că această relaţie reprezintă, în fond, o relaţie între mărimi cuantice. Prin urmare, dacă „relaţia de nedeterminare dă restricţiile cu care i se aplică electronului noţiunile de poziţie şi de viteză din mecanica obişnuită", după cum scrie A. D. Aleksandrov[2], aceasta se explică numai pe baza faptului că ea este o relaţie între coordonata *cuantică* şi impulsul *cuantic*.

Relaţia de nedeterminare este, aşadar, o relaţie între impulsul cuantic şi coordonata cuantică, iar nu între impulsul clasic şi coordonata clasică, şi, din acest punct de vedere, ea devine evidentă, infinit depărtată de aparenţa misterioasă şi inaccesibilă în care a învăluit-o idealismul.

În legătură cu problema pusă mai sus, să examinăm punctul de vedere al lui L. I. Mandelstam asupra relaţiei de nedeterminare exprimat în „Lecţiile asupra bazelor mecanicii cuantice"[3].

Conform acestui punct de vedere, relaţia de nedeterminare poate fi privită ori ca fiind conţinută în aparatul matematic al mecanicii cuantice, ori ca fiind „determinată de perturbarea sistemului măsurat", şi aceasta reprezintă două aspecte ale aceluiaşi lucru[4].

Acest punct de vedere înclină, în fond, către interpretarea dată relaţiei de nedeterminare de către Bohr şi Heisenberg. După Mandelstam, orice teorie fizică conţine în mod necesar atît aparatul matematic cît şi o prescripţie pentru măsurători, unde

[1] Vezi A. D. Aleksandrov, *Zameceaniia o pravilah kommutații i uravnenii Schrödingera*, DAN SSSR, vol. IV, nr. 4, 1934.

[2] A. D. Aleksandrov, „Vestnik Leningradskogo universiteta", nr. 4, 1949, p. 51. Păreri analoge despre relaţia de nedeterminare au fost exprimate şi de V. A. Fok, S. E. Friş şi de mulţi alţi fizicieni. Dacă nu le atribuim semnificaţia de principiu al nedeterminării în sensul lui Heisenberg, atunci nu putem obiecta nimic împotriva lor.

[3] L. I. Mandelstam, *Polnoe sobranie trudov*, vol. V, 1950.

[4] *Ibidem*, pp. 394—395.



prin prescripţia măsurătorii se înţelege o prescripţie pentru trecerea de la simbolul matematic la obiecte clasice (punct material, corp solid etc.); fără aparat matematic, nici nu există teorie, iar fără prescripţia pentru măsurători, teoria este iluzorie, vidă. De pe această poziţie, deosebirea dintre mecanica cuantică şi cea clasică nu este determinată de deosebirea obiectelor pe care le oglindesc aceste teorii fizice, ci de faptul că, în mecanica cuantică, prescripţiile de măsurare se dau pentru valorile proprii ale operatorilor, iar în mecanica clasică, pentru mărimile matematice care figurează în ecuaţiile ei.

Cu alte cuvinte, după Mandelstam, mărimile fizice sînt, în fond, create de procedeele de măsurare, iar noţiunile fizicii clasice reprezintă pentru mecanica cuantică un cadru inevitabil; adică, numai pornind de la noţiuni clasice, ar fi posibil să înţelegem din punct de vedere „fizic" semnificaţia ecuaţiilor ei matematice. Tocmai această poziţie a lui L. I. Mandelstam l-a dus la situaţia în care, pentru a interpreta fizic relaţia de nedeterminare ca ecuaţie matematică, el a recurs la „perturbarea sistemului măsurat, suferită de el în actul de măsurare" şi . . . a ajuns la tratarea bine cunoscută a relaţiei de nedeterminare în spiritul ideilor lui Bohr.

Să mai cercetăm unele interpretări ale relaţiei de nedeterminare.

În multe lucrări de mecanică cuantică, în special în cele de popularizare, se întîlneşte adeseori următoarea tratare a acestei relaţii: este imposibil să se măsoare simultan oricît de precis şi impulsul şi coordonata unei microparticule. Potrivit acestei interpretări, rezultă că relaţia de nedeterminare se referă la interacţia necontrolabilă dintre microobiect şi aparat şi, de aceea, critica noastră a relaţiei lui Heisenberg e în întregime aplicabilă şi acestei formulări. Am dori însă să atragem atenţia asupra unui fapt.

De obicei, s-a căutat să se găsească, în acest mod de tratare al relaţiei de nedeterminare, un sîmbure raţional. De exemplu, s-a răspîndit concepţia că ea ar exprima în limbajul noţiunilor clasice o proprietate a unui obiect atomic. Însă acest limbaj este vădit inutilizabil pentru a exprima prin intermediul lui proprietăţile unui obiect atomic, şi tocmai de aici rezultă toate paradoxele legate de relaţia de nedeterminare. Face impresia că toate acestea sună foarte convingător; rămîne deci să exprimăm proprietăţile obiectului atomic într-un limbaj de noţiuni adecvate acestui obiect şi atunci vor dispare paradoxele. Însă — şi aici

trebuie căutată esența chestiunii — cei care au căutat un conținut rațional în interpretarea amintită nu au dat un astfel de limbaj de noțiuni adecvate obiectelor atomice, problema a rămas pe loc, paradoxele au rămas ca înainte, a rămas aceeași tratare a relației de nedeterminare cu faimoasele ei „nu se poate" și rezolvarea problemei s-a transformat într-un exorcism.

Prezintă un anumit interes interpretarea relației de nedeterminare, dată de V. A. Fok, în articolul „Legile fundamentale ale fizicii în lumina materialismului dialectic". El consideră că „cel mai corect este de a interpreta relația de nedeterminare ca fiind indicarea limitei de aplicabilitate a oricărui fel de modele clasice"[1]. Un model clasic al obiectului, așa cum îl definește V. A. Fok, este „un model, în care obiectului i se atribuie simultan valori determinate ale tuturor mărimilor care pot fi măsurate separat"[2].

Așadar, după V. A. Fok, mecanica cuantică utilizează modelele clasice, dar le utilizează în limitele stabilite de relația de nedeterminare, în timp ce fizica precuantică utilizează modelele clasice fără nici un fel de restricție. V. A. Fok crede că acest mod de tratare a relației de nedeterminare ne va permite să evităm „multe neînțelegeri" și propune ca fizicienii să nu vorbească despre „un principiu al nedeterminării", ci despre un principiu al aplicabilității limitate a modelelor clasice"[3].

Bineînțeles, nu este vorba aici de a înlocui termenul de „principiul nedeterminării" printr-un termen nou, „principiul aplicării limitate a modelelor clasice", ci de conținutul acestui principiu. Principiul aplicabilității limitate a modelelor clasice indică numai limitele de aplicabilitate ale noțiunilor corpusculare clasice și nu pătrunde mai adînc decît această indicație, adică din el nu rezultă de ce, bunăoară, modelul punctului material este aplicabil numai în anumite limite și nu poate fi utilizat nelimitat, ca în mecanica clasică. Cu alte cuvinte, interpretarea lui V. A. Fok nu dezvăluie conținutul pozitiv al relației de nedeterminare ca o relație între mărimi cuantice, și în aceasta constă insuficiența ei.

V. A. Fok scrie că, „întotdeauna, se vor găsi oameni cărora nu le este pe plac existența unei limite a aplicabilității modelelor clasice". Ei vor spune că, „în dezvoltarea ei, știința va depăși

[1] V. A. Fok, „Vestnik Leningradskogo universiteta", nr. 4, 1949, p. 40.
[2] *Ibidem*, p. 39.
[3] *Ibidem*, p. 40.



această limită", deoarece nu toate modelele clasice au fost încercate pînă acum, așa cum au susținut și „cei care au obiectat împotriva legii conservării energiei, pe motivul că nu au fost încă încercate toate modelele de perpetuum mobile"[1]. Aceste considerente emise, după Fok, împotriva „conservatorilor în fizică", trebuie să fie dezvoltate mai departe, dacă vrem să rezolvăm problema interpretării relației de nedeterminare.

Conținutul legii conservării energiei a fost dezvăluit numai în momentul în care fizica a renunțat la expresia inițială negativă „a imposibilității mișcării perpetue", și i-a dat expresia modernă, în care se afirmă că energia unui sistem închis rămîne constantă și doar trece dintr-o formă în alta. Absurditatea obiecției împotriva legii conservării energiei, după care nu toate modelele de perpetuum mobile ar fi fost încercate, este în prezent evidentă, însă ea nu era evidentă în perioada în care Academia de Științe din Paris a luat hotărîrea să nu examineze proiectele de perpetuum mobile și deci, pe atunci, adversarii legii conservării energiei aveau oarecare temei de a insista asupra punctului lor de vedere.

În ceea ce privește relația de nedeterminare, situația se prezintă aici întrucîtva la fel. Argumentarea adversarilor acestei relații pierde abia atunci în mod definitiv orice bază, cînd în această relație apare în evidență conținutul ei, adică atunci cînd această lege a naturii se exprimă sub formă de relație între impulsul cuantic și coordonata cuantică. Dacă însă interpretarea relației de nedeterminare se exprimă numai sub forma unei interdicții, a unui „nu se poate"[2], atunci „conservatorii în fizică" mai au oarecare motive pentru a afirma că nu toate modelele clasice au fost încercate. Mai mult, din relația de nedeterminare, considerată ca o relație între impulsul cuantic și coordonata cuantică, rezultă de la sine indicația existenței unei limite a aplicabilității modelelor clasice, după cum din legea conservării energiei rezultă afirmația imposibilității mișcării perpetue.

În concluzie, să comparăm conținutul relației de nedeterminare cu relația lui Heisenberg.

Relația de nedeterminare exprimă legile microfenomenelor ce au loc în proporții de masă și se referă la un ansamblu cuantic,

[1] V. A. Fok, „Vestnik Leningradskogo universiteta", nr. 4, 1949, p. 40.
[2] „Principiul aplicabilității limitate a modelelor clasice" nu se va schimba cîtuși de puțin, dacă-l vom exprima prin următoarele cuvinte: nu putem aplica fără restricții obiectelor atomice modelele clasice.

caracterizînd specificul lui, care îl deosebeşte de un ansamblu clasic. Relaţia lui Heisenberg nu reflectă o realitate obiectivă şi se referă la un microobiect care interacţionează într-un mod necontrolabil cu aparatul de măsură, adică exprimă principiul subiectivist al complementarităţii.

Relaţia de nedeterminare rezultă direct din aparatul matematic al mecanicii cuantice; semnificaţia ei fizică este determinată de interpretarea fizică a funcţiei de undă şi a operatorilor, care reflectă statistic proprietăţile corpuscular-ondulatorii ale obiectelor microscopice. Relaţia lui Heisenberg serveşte la fundarea mecanicii cuantice din punctul de vedere al principiului complementarităţii şi nu are nici o legătură cu conţinutul mecanicii cuantice şi cu legile ei fundamentale.

Distribuţia statistică a unei mărimi fizice depinde de funcţia de undă ce caracterizează ansamblul cuantic la care se referă relaţia de nedeterminare şi de operatorul mărimii distribuite; nici un alt fel de circumstanţe nu influenţează distribuţia mărimii. Distribuţia „impreciziilor" unei „măsurători" cuantice individuale a obiectului, la care se referă relaţia lui Heisenberg, este determinată numai de aparatul „clasic" care realizează cu obiectul interacţia necesară pentru „măsurare"; relaţia lui Heisenberg este o categorie „instrumentală" şi nu are nici un fel de legătură cu mărimile fizice cuantice şi cu distribuţiile lor statistice, existente independent de aparatele care le măsoară.

### 3. **Din nou despre semnificaţia fizică a funcţiei de undă**

Să sintetizăm materialul primelor două paragrafe relativ la concepţia ansamblelor cuantice şi să subliniem, totodată, unele aspecte ale problemei caracterului statistic al mecanicii cuantice.

Mecanica cuantică este o teorie statistică; ea studiază legile unor microfenomene ce au loc în proporţii de masă. Acestea există independent de om şi se studiază cu ajutorul metodelor calculului probabilităţilor. De exemplu. dezintegrarea unei substanţe radioactive, formată dintr-un număr foarte mare de atomi, se produce după o lege statistică, adică diferiţii atomi se dezintegrează la momente diferite, şi putem determina probabilitatea dezintegrării unui atom dat într-un interval de timp dat, după cum putem determina şi aşa-numitul timp de dezintegrare mediu, care este constant.

În mecanica cuantică, se foloseşte noţiunea de colectiv statistic. În conformitate cu caracterul statistic al mecanicii cuantice,



în aparatul ei matematic figurează valorile medii ale mărimilor ce caracterizează obiectele din care este format ansamblul statistic, probabilităţile valorilor acestor mărimi şi aşa-numitele împrăştieri sau fluctuaţii, adică abaterile de la valorile medii. Deşi este o teorie statistică a fenomenelor microscopice, mecanica cuantică nu exclude studiul proprietăţilor individuale ale obiectelor izolate (de exemplu, al nivelelor de energie ale unui atom). În acest caz, împrăştierea sau abaterea standard (măsura dispersiei statistice) a mărimii corespunzătoare este nulă. Legea statistică exprimă natura ansamblului şi priveşte ansamblul statistic în totalitatea lui. De exemplu, dezintegrarea unui atom al unei substanţe radioactive nu determină de loc o dezintegrare ulterioară a unui atom vecin: legea statistică guvernează întregul colectiv de dezintegrări.

Spre deosebire de teoria statistică a fizicii clasice, mecanica cuantică exprimă probabilităţile şi valorile medii cu ajutorul funcţiilor de undă şi al operatorilor. În aceasta se manifestă oglindirea particularităţilor ansamblului statistic (ansamblul cuantic), care îl deosebesc de ansamblul statistic din mecanica clasică (ansamblul clasic). Particularităţile ansamblului cuantic îşi găsesc expresia în relaţia de nedeterminare.

În mecanica cuantică, cu ajutorul funcţiei de undă, este descrisă statistic natura corpuscular-ondulatorie a microobiectelor. Această natură duală a microobiectelor se manifestă şi în faptul că, în mecanica cuantică, mărimile ei — coordonatele, vitezele, energiile etc. — nu se exprimă cu ajutorul unor mărimi matematice continue „obişnuite", ci cu ajutorul unor operatori lineari autoadjuncţi, ceea ce sublinează deosebirea dintre mărimile cuantice şi mărimile din mecanica clasică.

Aceasta este esenţa ideii ansamblelor cuantice, de pe al cărei punct de vedere mecanica cuantică a fost expusă sistematic de către D. I. Blohinţev, în cartea „Bazele mecanicii cuantice". După cum am arătat în primele două paragrafe, concepţia ansamblelor cuantice este diametral opusă concepţiei complementarităţii; ea asigură posibilitatea dezvoltării ulterioare rodnice a teoriei microfenomenelor.

Împotriva concepţiei ansamblelor cuantice a luat poziţie V. A. Fok. După părerea sa, această concepţie se reduce la afirmaţia că „mecanica cuantică este privită nu ca o teorie a microobiectelor reale, ci ca teorie a unor formaţii speculative — „ansamblele cuantice". Concepînd astfel ideea ansamblelor cuantice, V. A.

Fok ajunge, în cele din urmă, la concluzia că această idee se apropie de „punctul de vedere pozitivist al lui Bohr". În opoziție cu ideea ansamblelor cuantice, V. A. Fok a emis o concepție a mecanicii cuantice, pe care a denumit-o „punctul de vedere al realității stărilor cuantice"[1]. V. A. Fok a fost sprijinit de A. D. Aleksandrov[2].

Din cele spuse mai sus cu privire la ansamblele cuantice, rezultă clar că ele nu sînt nicidecum formații speculative, deși V. A. Fok și A. D. Aleksandrov o afirmă. Nu numai că ideea ansamblelor cuantice nu are nimic comun cu concepțiile pozitiviste, însă, după cum vom arăta mai jos, „punctul de vedere al realității stărilor" intră în rezonanță, într-un punct esențial, cu poziția lui Bohr, împotriva căreia se ridică însuși V. A. Fok.

Să începem cu problema colectivului statistic sau a ansamblului statistic în mecanica cuantică. Unii autori fac distincție între noțiunea de colectiv statistic și cea de ansamblu statistic. Vom arăta mai jos că această distincție nu este necesară.

Așadar, ce este un colectiv statistic sau un ansamblu statistic?

V. A. Fok consideră că, „spre deosebire de un obiect clasic, obiectul din mecanica cuantică poate să nu aibă de loc o valoare determinată a mărimii fizice după care trebuie efectuată clasificarea în colectivul considerat". El conchide de aici că, „drept element al colectivului statistic, nu putem lua obiectul însuși, ci trebuie să luăm rezultatul unei măsurători asupra obiectelor, și anume al măsurării mărimii după valorile căreia efectuăm clasificarea"[3].

Așadar, după V. A. Fok, dacă nu există măsurătoare, nu există nici colectiv statistic în mecanica cuantică. Dacă atribuim ansamblului cuantic această interpretare a noțiunii de colectiv statistic în mecanica cuantică, se înțelege că, în concepția ansamblelor cuantice, se vor găsi contradicții și incongruități. Vom încerca să analizăm chestiunea.

Să presupunem că, într-un tub vidat, de pe un filament incandescent, sînt emiși, într-o anumită direcție, electroni accelerați de către un cîmp electric. Electronii în mișcare formează un ansamblu cuantic; fiecare electron este un element al ansamblului.

[1] V. A. Fok, *Despre așa-numitele ansamble din mecanica cuantică*, „Voprosî filosofii", nr. 4, 1952, pp. 170—173.

[2] A. D. Aleksandrov, DAN SSSR, vol. LXXXV, nr. 2, 1952.

[3] V. A. Fok, „Voprosî filosofii", nr. 4, 1952, p. 171.



Dacă densitatea electronilor din fluxul de electroni este așa de mică încît putem neglija interacția lor și dacă vitezele pe care le capătă electronii depășesc considerabil vitezele lor termice, atunci putem admite că toți electronii au același impuls și, prin urmare, ansamblul cuantic considerat poate fi caracterizat printr-o funcție de undă de tipul undei plane a lui de Broglie.

În acest exemplu, este important de subliniat că electronii în mișcare formează un ansamblu, indiferent dacă sînt înregistrați (de exemplu, pe un ecran) sau nu. Cu alte cuvinte, ansamblul cuantic, adică colectivul statistic din mecanica cuantică nu este un „colectiv de rezultate ale unor măsurători"; el există independent de măsurare sau de observație.

Să analizăm mai îndeaproape problema ansamblului statistic sau a colectivului statistic. Mulțimea de fenomene, sau de obiecte, sau de exemplare ale aceluiași obiect (fenomen) care, în condiții date, se referă la un același tip, formează un ansamblu statistic; prin urmare, condițiile determinate nu pot fi despărțite de un ansamblu statistic determinat și sînt o caracteristică a acestuia. Dacă, în condițiile în care se formează ansamblul, o mărime ce caracterizează un obiect al ansamblului are aceeași valoare pentru fiecare obiect, ea poate servi drept caracteristică a condițiilor, adică cu ajutorul ei putem fixa condițiile și, o dată cu ele, ansamblul (de obicei, există cîteva mărimi de acest fel, care caracterizează condițiile). Exemple: distanța într-un ansamblu de trageri (în cazul atingerii unei ținte) între țintă și trăgător; valoarea proprie a impulsului într-un ansamblu de electroni, caracterizat printr-o undă plană a lui de Broglie. După criteriul unei astfel de mărimi (sau al unui sistem de astfel de mărimi), se efectuează reunirea unei mulțimi de obiecte într-un ansamblu statistic.

Mediile statistice ale diferitelor mărimi (proprii obiectelor care aparțin ansamblului statistic) caracterizează din punct de vedere cantitativ specificul mulțimii de obiecte, ca ansamblu statistic. Cu alte cuvinte, valoarea statistică medie (în sens de speranță matematică) a unei mărimi nu caracterizează particularitatea care deosebește o valoare individuală a acestei mărimi de alte valori individuale, ci specificul multor valori individuale ale acestei mărimi, adică ceea ce aparține mărimii, considerată ca o mărime referitoare la ansamblu. Valoarea medie a mărimii poate fi găsită (teoretic sau experimental), independent de cunoașterea valorilor ei individuale.

Probabilitatea unei valori a mărimii reprezintă o caracteristică cantitativă a legăturii dintre ansamblul statistic şi una dintre părţile lui, incluzînd aici şi un obiect (sau un fenomen) care face parte din ansamblu. Împrăştierea mărimii şi alte noţiuni statistice analoge (de exemplu, abaterea pătratică medie) oglindesc legătura dintre media statistică şi valorile individuale ale mărimii. Funcţia de distribuţie a probabilităţilor mărimii reprezintă caracteristica cea mai completă a unei mărimi statistice.

Probabilităţile, speranţele matematice, împrăştierea şi alte noţiuni analoge nu trebuie confundate cu frecvenţele, mediile etc. O astfel de confundare înseamnă identificarea ansamblului statistic real cu oglindirea lui experimentală (măsurătoarea) şi duce la o denaturare idealistă a noţiunilor probabiliste, statistice (în această privinţă, este semnificativă în felul ei concepţia probabilităţii ca frecvenţă a lui Mises)[1]. În calculul probabilităţilor, se ţine seama de acest fapt, în afirmaţia că supunem prelucrării statistice o mulţime infinită, care nu este identică cu mulţimea finită de rezultate ale măsurătorilor. Din acest punct de vedere, considerăm că nu este necesară acea dedublare a noţiunilor de care am amintit: ansamblul statistic, adică o mulţime de obiecte reunite după un anumit criteriu, iar colectivul statistic, un ansamblu nelimitat cu o funcţie de distribuţie determinată.

Nu pare necesar să dezvoltăm mai departe problema ansamblului statistic. V. A. Fok o pune într-un alt mod, deoarece el înţelege prin ansamblu statistic în mecanica cuantică numai un „colectiv de măsurători" şi, de asemenea, pentru că, în interpretarea dată de el ansamblului statistic, mulţimea reală de fenomene şi oglindirea ei în noţiunea de colectiv statistic coincid de fapt[2].

Aci este cazul să analizăm o observaţie a lui A. D. Aleksandrov. El afirmă că, după Blohinţev, „obiect al teoriei devine nu obiectul, ci un colectiv de experimente şi nu numai mecanica cuantică, dar şi cea clasică sînt declarate o teorie statistică"[3]. În ceea ce priveşte mecanica cuantică, se ştie că D. I. Blohinţev susţine concepţii cu totul opuse. Iar în ceea ce priveşte mecanica clasică, în cazul de faţă, reproşul i se adresează lui Mandelstam: la acesta, există în adevăr exprimată părerea că afirmaţiile probabiliste şi din mecanica cuantică şi din cea clasică s-ar referi la un ansamblu de experimente repetate. Bineînţeles, obiectul teoriei nu poate fi un colectiv sau o mulţime de experimente, însă la Mandelstam există şi o astfel de afirmaţie: elementul unui ansamblu statistic de electroni, la care se aplică mecanica cuantică, „este comportarea unui electron individual"[1]. Indiscutabil că L. I. Mandelstam nu are dreptate, atunci cînd afirmă că şi teoria clasică şi cea cuantică au de-a face cu mulţimi de experimente repetate, dar, din nu se ştie ce motiv, A. D. Aleksandrov, care critică ideea ansamblelor cuantice, nu a acordat atenţie afirmaţiei citate a lui Mandelstam, pe care, evident, a citit-o.

Pentru înţelegerea materialistă a mecanicii cuantice, este extrem de important să dăm o rezolvare corectă problemei rolului condiţiilor în cunoaşterea microfenomenelor. O indicaţie pentru soluţionarea acestei probleme se găseşte în principiul materialismului dialectic despre conexiunea universală şi intercondiţionarea fenomenelor lumii materiale.

Referindu-se la acest principiu, Aleksandrov scrie: „Starea unui electron nu este ceva determinat ca atare; ea este *condiţionată* de relaţia electronului cu alte obiecte. Descrierea stării cu ajutorul funcţiei $\Psi$ face parte dintre condiţiile corespunzătoare: „descriere neabsolută"[2]. Această descriere neabsolută, V. A. Fok o caracterizează astfel: „Microobiectul este descris prin intermediul funcţiei de undă, nu desprins de condiţiile exterioare, ci în raport cu condiţiile fizice concrete, în raport cu aparatul care le creează". Mai departe, iarăşi referindu-se la principiul conexiunii universale a fenomenelor, el conchide: „În fizica clasică, putem face abstracţie de legătura dintre obiect şi aparat; însă în fizica cuantică, nu mai trebuie să vorbim pur şi simplu despre un obiect, ci despre un obiect care interacţionează cu un aparat de un anumit tip"[3]. Acesta este punctul de vedere asupra funcţiei de undă, pe care V. A. Fok şi A. D. Aleksandrov îl susţin împotriva ideii ansamblelor şi pe care încearcă să-l justifice prin referiri la materialismul dialectic.

În primul rînd, dacă ar fi să recunoaştem — împreună cu Aleksandrov şi cu Fok — că, în fizica clasică, putem face abstracţie de legătura obiectului cu condiţiile concrete, ar rezulta că

[1] Despre diversele concepţii ale probabilităţii, vezi cap. V.

[2] Vezi locul citat mai sus din articolul lui V. A. Fok.

[3] A. D. Aleksandrov, DAN SSSR, vol. LXXXV, nr. 2, 1952, p. 294.

[1] L. I. Mandelştam, *Polnoe sobranie trudov*, vol. V, p. 356.

[2] A. D. Aleksandrov, DAN SSSR, vol. LXXXV, nr. 2, 1952, p. 291 (sublinierea autorului).

[3] V. A. Fok, „Vestnik Leningradskogo universiteta", nr. 4, 1949, pp. 42—43.

fizica clasică nu trebuie să facă parte din domeniul de aplicabilitate al principiului dialecticii marxiste referitor la conexiunea fenomenelor între ele, deci şi cu condiţiile înconjurătoare. Tot conţinutul fizicii clasice se află într-o flagrantă contradicţie cu afirmaţii de acest tip. De exemplu, se ştie că apa, ca apă *lichidă*, există numai într-un anumit interval de temperatură şi la presiunea aşa-zisă normală; dacă cel puţin una dintre aceste condiţii lipseşte, nu avem nici apă lichidă. Acest lucru se poate spune şi despre multe alte legi ale fizicii clasice, ca şi în genere despre legile naturii şi ale societăţii. Engels a atras atenţia, în „Dialectica naturii", asupra faptului că aşa-numitele legi veşnice ale naturii se transformă, din ce în ce mai mult, în legi istorice[1], adică ele acţionează numai în condiţii determinate.

Problema condiţiilor are un anumit specific în fiecare domeniu al ştiinţei; această problemă are particularităţi determinate şi în mecanica cuantică în comparaţie cu fizica clasică. Ea nu trebuie însă considerată în spiritul „descrierii neabsolute" a lui V. A. Fok, din cauză că, în această „descriere", problema rolului condiţiilor în cunoaşterea fenomenelor atomice nu se deosebeşte de problema rolului aparatului.

În adevăr, privind în mod just mecanica cuantică ca o „teorie a unor procese obiective", V. A. Fok şi A. D. Aleksandrov admit o interpretare a stării în mecanica cuantică (funcţia de undă se referă la un microobiect individual), care se află în contradicţie cu înţelegerea mecanicii cuantice ca teorie a unor procese obiective. Că lucrurile se prezintă în adevăr aşa, rezultă din afirmaţiile citate ale lui V. A. Fok, după care mecanica cuantică nu ar avea de-a face, de exemplu, cu un electron, ci cu un electron care interacţionează cu un aparat de un tip determinat. Acest lucru este confirmat şi de următorul citat din articolul lui A. D. Aleksandrov: „. . . *în general, o mărime* (în mecanica cuantică. — *M. O.*) *nu trebuie considerată ca o caracteristică a electronului într-o stare dată, ci ca o caracteristică a interacţiei corespunzătoare a electronului cu un alt obiect.* Prin aceasta, mărimea nu încetează de a fi obiectivă, însă ea nu aparţine electronului ca atare"[2].

În aceste afirmaţii ale lui Fok şi Aleksandrov, se face un pas greşit spre confundarea conţinutului obiectiv al mecanicii

[1] Vezi F. Engels, *Dialectica naturii*, E.S.P.L.P., p. 242.

[2] A. D. Aleksandrov, DAN SSSR, vol. LXXXV, nr. 2, 1952, p. 292 (sublinierea autorului).



cuantice cu ideile pozitiviste ale şcolii de la Copenhaga. Subliniem încă o dată că nu putem să nu facem distincţie între problema cunoaşterii unui fenomen care există independent de aparat şi problema cunoaşterii fenomenului, în conexiune cu fenomenele care îl determină; or, aceasta se întîmplă, în fond, la Fok şi Aleksandrov. În afară de aceasta, după Fok şi Aleksandrov, rezultă că nu atît mecanica cuantică cunoaşte electronul în legătura lui cu condiţii determinate, cît, ca să zicem aşa, electronul se dizolvă în relaţia şi în interacţia lui cu un alt obiect (corp macroscopic).

Aşadar, punctul de vedere al lui Fok şi Aleksandrov asupra funcţiei de undă, pe care V. A. Fok l-a numit „punctul de vedere al realităţii stărilor cuantice", poate fi cu greu pus în concordanţă cu principiul materialismului dialectic referitor la conexiunea şi intercondiţionarea fenomenelor din natură, contrar celor ce afirmă autorii acestui punct de vedere.

În fapt, punctul de vedere al realităţii stărilor cuantice este realizat în mecanica cuantică pe baza ideii de ansamblu cuantic. Acest lucru a fost arătat în lucrările lui D. I. Blohinţev şi ale altor autori care împărtăşesc această idee.

Afirmaţia că funcţia de undă ar caracteriza starea unui electron individual, duce la conceperea electronului ca un simbol pur al unei relaţii dintre lumea microscopică şi cea macroscopică, reînvie în fond mitul pretinsei înţelegeri „deosebite" a fenomenelor studiate de mecanica cuantică. Ideea de ansamblu cuantic ne permite să rezolvăm problema determinării unei stări cuantice înaintea modificării ei în procesul de măsurare, ceea ce corespunde caracterului obiectiv al legilor mecanicii cuantice. Rezolvarea corectă a acestei probleme devine posibilă, pentru că ideea de ansamblu cuantic se bazează, după cum vom arăta mai jos, pe principiul materialist-dialectic al conexiunii universale a fenomenelor.

Problema rolului condiţiilor în cunoaşterea fenomenelor atomice este strîns legată de problema fundamentelor statisticităţii cuantice. Să analizăm considerentele lui D. I. Blohinţev în legătură cu ultima problemă cu care, după părerea noastră, nu putem fi întrutotul de acord.

D. I. Blohinţev vede fundamentele statisticităţii cuantice în legătura indestructibilă a micro- şi macrofenomenelor, a microfenomenelor şi a ambianţei macroscopice, ceea ce rezolvă — după părerea sa — problema naturii ansamblului cuantic. După ce exprimă această idee, el ajunge la concluzia: „Aşadar, fizica

atomică actuală confirmă şi dezvoltă (? ! — *M. O.*) bine cunoscuta teză a materialismului dialectic că lucrurile şi fenomenele trebuie studiate în conexiunea lor"[1].

În primul rînd, nu numai fizica atomică ci şi fizica clasică şi, în general, orice teorie fizică corectă confirmă teza materialismului dialectic despre necesitatea de a studia fenomenele în legătura lor organică. De aceea, concluzia citată a lui D. I. Blohinţev despre fizica atomică nu dezvăluie specificul acesteia din urmă şi rămîne doar o schemă. Trebuie să amintim că orice afirmaţie statistică care reflectă natura (nu numai una „cuantică") presupune existenţa unei legături obiective între un fenomen care poate să se realizeze în condiţii date şi aceste condiţii. De ce condiţiile în care se realizează fenomenele atomice, studiate de mecanica cuantică, sînt condiţii macroscopice, este o problemă pe care D. I. Blohinţev nu o lămureşte.

În al doilea rînd, dacă ar fi să înţelegem legătura dintre microfenomene şi condiţiile macroscopice în felul în care scrie D. I. Blohinţev, ar însemna că microfenomenele sînt generate de condiţiile macroscopice de care sînt legate. Nu putem fi de acord cu această afirmaţie. Natura ansamblului cuantic, baza statisticităţii cuantice nu stă în faptul că microfenomenele sînt legate în mod indestructibil de condiţii macroscopice, ci în proprietăţile corpuscular-ondulatorii inseparabile ale obiectelor care fac parte din ansamblul cuantic. Funcţia de undă exprimă statistic proprietăţile corpuscular-ondulatorii inseparabile ale microobiectelor; ea caracterizează ansamblul cuantic. Proprietăţile corpuscular-ondulatorii ale obiectelor îşi găsesc expresia în aceea că, în mecanica cuantică, relaţiile probabiliste nu se formulează ca relaţii între probabilităţi (şi funcţiile lor), ci ca relaţii între funcţiile de undă; din funcţia de undă se calculează probabilitatea oricărei mărimi fizice. Funcţia de undă (caracterizînd ansamblul cuantic) nu reflectă numai natura corpuscular-ondulatorie a microfenomenelor, ci şi condiţiile în care aceste microfenomene formează un ansamblu cuantic; de aceea, cunoaşterea acestor condiţii înseamnă cunoaşterea funcţiei de undă.

În ce mod se defineşte un ansamblu cuantic?

Din mecanica cuantică, se ştie că, în cazul general al unei funcţii de undă complexe, probabilitatea nu determină în mod univoc această funcţie de undă. Aceasta din urmă este determinată de la început printr-un complect de operatori (care au unele proprietăţi determinate), pentru care ea este o funcţie proprie; aparatul matematic al mecanicii cuantice permite, în acest caz, să determinăm, pe baza acestor operatori, funcţia de undă însăşi. În mod corespunzător, criteriul care defineşte ansamblul cuantic (pe baza căruia se formează ansamblul cuantic) este un complect de mărimi cuantice (unele mărimi cuantice, care aparţin ansamblului pot avea valori proprii; complectul *acestor* mărimi cuantice serveşte drept criteriu care defineşte ansamblul cuantic). Astfel, unda plană a lui de Broglie este o funcţie proprie a operatorului impuls; dacă măsurătorile într-un ansamblu cuantic au arătat că impulsul cuantic are o valoare proprie, atunci impulsul cuantic serveşte drept criteriu care defineşte ansamblul cuantic, şi unda plană a lui de Broglie caracterizează acest ansamblu.

La definirea mărimilor cuantice şi, prin urmare, la definirea ansamblelor cuantice, se folosesc noţiunile corpusculare ale mecanicii clasice. Necesitatea lor este determinată de faptul că, la evaluarea cantitativă a unor fenomene din care tragem concluzii despre comportarea microobiectelor (de exemplu, scintilaţiile pe un ecran), folosim noţiunile fizicii clasice. Aşadar, criteriul prin care este dat (determinat) un ansamblu cuantic, ca şi orice altă mărime cuantică, se defineşte prin intermediul unor mărimi clasice, dar nu se reduce la ele. De exemplu, impulsul cuantic se defineşte prin impulsul clasic, dar ele nu sînt identice. În anumite condiţii, impulsul cuantic poate să aibă numai o valoare medie, iar impulsul clasic nu prezintă această particularitate.

D. I. Blohinţev afirmă că criteriul prin care se defineşte un ansamblu cuantic este un complect de mărimi corpusculare clasice. El explică acest lucru prin faptul că aparatele care fixează ansamblele trebuie să se afle dincolo de limitele acestora, adică să fie lipsite de elemente de statisticitate cuantică, condiţie căreia îi corespund numai aparatele „clasice" sau „macroscopice"[1].

Credem că problema statisticităţii cuantice a aparatului (dacă aceasta există sau nu) nu are legătură cu problema definirii ansamblului cuantic. Valoarea medie a unei mărimi cuantice şi probabilitatea ca o mărime cuantică să ia o anumită valoare au sens numai în măsura în care se indică, se pune în evidenţă ansamblul cuantic în care ele există. Orice ansamblu

[1] D. I. Blohinţev, *Kritika idealisticeskogo ponimaniia kvantovoi teorii*, UFN, vol. XLV, fasc. 2, 1951, p. 210.

[1] Vezi D. I. Blohinţev, *Bazele mecanicii cuantice*, p. 66; Idem, *Răspuns academicianului V. A. Fok*, „Voprosî filosofii", nr. 6, 1952.

statistic poate fi pus în evidenţă prin faptul că în el există (îi sînt proprii) unele mărimi care au în el valori determinate. Pentru mecanica cuantică, aceasta înseamnă că un ansamblu cuantic poate fi indicat prin complectul mărimilor care au în el valori proprii (existenţa valorilor proprii se stabileşte experimental).

Este greşit să concepem condiţiile în care există ansamblul ca ceva exterior ansamblului, şi aceasta fie şi pentru faptul că, în afara unor condiţii determinate, nu poate să existe un ansamblu determinat. Bineînţeles, condiţiile în care o mulţime de microobiecte formează un ansamblu statistic pot fi caracterizate prin parametri macroscopici (temperatura unui filament la care este aplicată o tensiune, dacă admitem că de pe acest filament sînt emişi electronii care formează ansamblul cuantic). Însă, în cazul de faţă, parametrii macroscopici nu pot determina condiţiile inseparabil legate de ansamblul cuantic, ci doar fixează unele fenomene existente independent de ansamblul cuantic.

Din toate cele spuse despre ansamblul cuantic, reiese clar că reproşurile lui Fok şi Aleksandrov, cu privire la pozitivismul la care ar duce concepţia ansamblelor cuantice, şi-au greşit ţinta.

V. A. Fok consideră că nu este permis să legăm noţiunea de ansamblu statistic din mecanica cuantică de noţiunea de funcţie de undă şi el vede în recunoaşterea acestei legături un viciu fundamental al ideii ansamblelor cuantice. Întrucît, afirmă el, dacă asupra microobiectului într-o stare dată efectuăm măsurători ale unei mărimi, obţinem un colectiv statistic, iar dacă asupra obiectului — în aceeaşi stare — efectuăm măsurători ale unei alte mărimi, obţinem un alt colectiv statistic şi în mod analog obţinem un al treilea colectiv statistic etc., funcţia de undă corespunde unei infinităţi de colective statistice. În realitate însă, ansamblul statistic din mecanica cuantică nu este un colectiv statistic de măsurători. Ansamblul cuantic există obiectiv şi este caracterizat printr-o funcţie de undă. Aceasta din urmă pune în evidenţă, prin intermediul relaţiei de nedeterminare, deosebirea radicală a ansamblului cuantic de ansamblul clasic. După cum se ştie, pe baza funcţiei de undă, putem calcula distribuţia oricărei mărimi fizice, fapt care este confirmat de măsurători.

Mai departe, V. A. Fok, consideră că, din recunoaşterea ansamblului statistic cuantic, ar rezulta necesitatea găsirii funcţiei de undă pentru mulţimea considerată de colective statistice, însă, după cum observă el, existenţa unei astfel de funcţii mai



trebuie demonstrată, iar fără demonstraţie, însăşi punerea problemei este nejustificată. Însă funcţia de undă caracterizează un ansamblu cuantic, iar acesta nu este o mulţime de colective statistice. De aceea, acest reproş este lipsit de orice temei, după cum a arătat Blohinţev, în răspunsul său către Fok. Este necesar să subliniem că însăşi această observaţie a lui V. A. Fok a apărut numai pentru că, după părerea sa, în mecanica clasică poate fi luat drept element al unui colectiv statistic un obiect, iar în mecanica cuantică, un astfel de element este numai rezultatul unei măsurători.

Interpretarea ansamblului statistic în mecanica cuantică ca un colectiv statistic de măsurători — şi, după Fok, nici nu poate exista o altă interpretare — a format terenul pe care au apărut şi alte afirmaţii ale lui Fok, îndreptate împotriva ideii ansamblelor cuantice (pretinsa complexitate a „punctului de vedere pur statistic", pretinsa negare în concepţia ansamblelor cuantice a faptului că microobiectul are nivele de energie etc.). Nu ne vom opri la aceste afirmaţii; lipsa lor de temei a fost arătată de D. I. Blohinţev[1].

Aşa-numitul punct de vedere al realităţii stării, susţinut de Fok şi de Aleksandrov, nu concordă cu recunoaşterea determinismului microfenomenelor. Este uşor de arătat că situaţia se prezintă astfel.

Ideea ansamblelor cuantice presupune că legile statistice ale mecanicii cuantice oglindesc legile unor microfenomene reale ce au loc în proporţii de masă. Prin aceasta, ideea ansamblelor cuantice duce la punerea problemei: să se dea o teorie a microfenomenelor individuale, să se dezvăluie legile acestora. Punctul de vedere al lui Fok-Aleksandrov îndepărtează teoria microfenomenelor de la rezolvarea corectă a acestei probleme. În adevăr, legea statistică a fenomenelor ce au loc în proporţii de masă şi legea fenomenelor individuale sînt aceleaşi şi, totodată deosebite una de cealaltă, ca şi întîmplarea şi necesitatea internă; ele pot fi despărţite una de alta numai în abstracţii, în procesul cercetării corespunzătoare. După Fok şi Aleksandrov, microfenomenul individual, comportarea unui microobiect luat în parte se supune, în general, numai probabilităţii; s-ar putea zice că spiritul statisticii pure ar domina în microcosm: funcţia de undă ar caracteriza starea microobiectului individual, iar însăşi noţiunea

[1] Vezi D. I. Blohinţev, „Voprosî filosofii", nr. 6, 1952, p. 174.

de stare în mecanica cuantică ar fi legată de noţiunea de probabilitate[1]. Fără să vrei îţi aduci aminte aici de afirmaţia de trist renume cu liberul arbitru al electronului. V. A. Fok a denumit ideea ansamblului cuantic „punctul de vedere pur statistic" asupra funcţiei de undă. Ar fi mai just să se denumească astfel interpretarea funcţiei de undă, dată de V. A. Fok.

A. D. Aleksandrov afirmă că „electronul, ca şi orice alt obiect, este caracterizat în întregime prin interacţiile sale posibile"[2] şi se referă în legătură cu aceasta la fragmentul lui Engels „Interacţiunea"[3], din „Dialectica naturii". Însă ideile lui Engels despre interacţie nu au nici o legătură cu ceea ce scrie A. D. Alexandrov.

La Engels, este vorba despre trecerea formelor de mişcare unele în altele, de condiţionarea lor reciprocă, de faptul că cunoaşterea acestei interacţii a formelor de mişcare ale materiei este tocmai cunoaşterea materiei. La Aleksandrov, este vorba despre interacţiile posibile ale electronului cu obiecte „clasice" (pe care el le denumeşte „măsurători")[4]. Ce înseamnă o astfel de „interacţie", putem vedea din următoarele. După Aleksandrov, natura electronului este astfel constituită că poziţiile şi vitezele determinate sînt „cuprinse" în el ca „posibilitate"; în anumite condiţii macroscopice, această posibilitate se realizează, ori ca poziţie a electronului, ori ca viteză, şi „această posibilitate a unor manifestări determinate în condiţii determinate, şi nicidecum prezenţa lor în sine, reprezintă proprietăţile electronului ca obiect determinat"[5].

Ar reieşi că, din punctul de vedere al ideilor pe care le susţin Fok şi Aleksandrov, electronul nu posedă o poziţie şi o viteză determinate în realitate, ci numai ca posibilitate, iar măsura acestei posibilităţi este probabilitatea de a obţine rezultatul corespunzător al măsurătorii.

De ce a ajuns A. D. Aleksandrov la astfel de afirmaţii? Între altele, pentru că, în primul rînd, el concepe „poziţia determinată", ca „poziţie a particulei în sensul obişnuit"[1]; şi, în al doilea rînd, pentru că, după părerea sa, în electron sînt „cuprinse potenţial" poziţiile şi vitezele „clasice", care se manifestă la măsurare.

[1] Vezi V. A. Fok, „Voprosî filosofii", nr. 4, 1952, p. 172.
[2] A. D. Aleksandrov, DAN SSSR, vol. LXXXV, nr. 2, 1952, p. 293.
[3] F. Engels, *Dialectica naturii*, E.S.P.L.P., p. 234.
[4] Vezi A. D. Aleksandrov, DAN SSSR, vol. LXXXV, nr. 2, 1952, p. 293.
[5] A. D. Aleksandrov, „Vestnik Leningradskogo universiteta", nr. 4, 1949, pp. 64—65.



În ceea ce priveşte prima afirmaţie, trebuie să spunem că unda are de asemenea o „poziţie determinată", însă aceasta nu este reflectată de noţiunea de coordonată a unei particule; atunci cînd spunem despre un electron, în legătură cu anumite condiţii, că el se „întinde în tot spaţiul", subînţelegem în realitate un spaţiu determinat, de exemplu un spaţiu de ordinul dimensiunii atomului, $\sim 10^{-8}$ cm. În ceea ce priveşte afirmaţia a doua, trebuie să spunem că electronului îi este propriu de la natură să se mişte în spaţiu şi în timp, căci altfel el nu ar fi un obiect material; dacă mişcarea sa în spaţiu şi în timp nu este reflectată de noţiunea de mişcare pe o traiectorie din mecanica clasică, aceasta arată doar că s-au descoperit noi forme şi proprietăţi ale materiei care se mişcă în spaţiu şi în timp, şi că această descoperire cere o teorie nouă, cu noţiuni noi.

Aşadar, punctul de vedere după care funcţia de undă ar caracteriza starea unui electron individual nu concordă în realitate cu recunoaşterea determinismului şi a obiectivităţii microfenomenelor.

* * *

Să citărm o afirmaţie din „Teoriile plus-valorii" a lui Marx, care aruncă o lumină asupra multor probleme încurcate de idealiştii filozofici şi „fizici". „Atunci cînd un lucru este îndepărtat de altul, — scrie Marx, — distanţa reprezintă, fără îndoială, o relaţie între un lucru şi celălalt; însă în acelaşi timp, distanţa este ceva diferit de această relaţie. Ea este întindere a spaţiului, o lungime anumită, care poate determina tot atît de bine distanţa între alte două lucruri, ca şi între cele două lucruri care au fost comparate. Dar aceasta încă nu este tot. Atunci cînd vorbim despre distanţă ca despre o relaţie între două lucruri, noi presupunem ceva „propriu", o „proprietate" a lucrurilor înseşi, care creează pentru ele posibilitatea de a fi depărtate unul de altul. Ce este distanţa între litera A şi masă? Întrebarea este lipsită de sens. Cînd vorbim despre distanţa dintre două lucruri, vorbim despre deosebirea lor în spaţiu... Le facem

[1] A. D. Aleksandrov, „Vestnik Leningradskogo universiteta", nr. 4, 1949, p. 57.

identice între ele ca părţi ale spaţiului şi, abia după ce le-am făcut identice *sub specie spaţii*, le distingem ca puncte diferite ale spaţiului. În apartenenţa lor la spaţiu stă unitatea lor"[1].

Proprietăţile unui lucru raportat la alte lucruri nu decurg din această relaţie, ci numai se manifestă în ea[2]. De exemplu, lungimea unei rigle care se mişcă este proprie acestei rigle, şi nu decurge din relaţiile ei cu o altă riglă, considerată de observator ca fiind fixă. În general, reducerea proprietăţilor unui lucru dat la o relaţie cu alte lucruri (la care el este raportat) duce direct la idealism; nu este o întîmplare că astrofizicianul englez Eddington justifica cunoscuta sa teză profund idealistă — „legile şi constantele fundamentale ale fizicii sînt absolut subiective şi pot fi deduse a priori" — referindu-se, între altele, la faptul că, în conformitate cu fizica modernă, lungimile şi duratele ar fi numai relaţii ale corpurilor în mişcare faţă de un sistem de referinţă.

Cît priveşte mecanica cuantică, reducerea proprietăţilor unui lucru la relaţiile lui cu alte lucruri, în sensul indicat mai sus, este caracteristică pentru şcoala de la Copenhaga. Consideraţiile lui Heisenberg şi Bohr, după care ar rămîne întotdeauna arbitrar care obiecte trebuie raportate la microobiectul observat şi care privite ca mijloace de observaţie (acest arbitrar implicînd o modificare în caracterul descrierii fenomenelor fizice obţinute) reprezintă un exemplu de reducere a proprietăţilor unui lucru la relaţiile lui cu alte lucruri. Această reducere este cuprinsă în însuşi conţinutul concepţiei complementarităţii. După părerea profund greşită a şcolii de la Copenhaga, numai continuitatea acţiunii face posibilă recunoaşterea existenţei obiectului independent de aparat, iar deoarece, în domeniul fenomenelor atomice, această continuitate a fost înmormîntată prin descoperirea cuantei de acţiune, rezultă că, după cum afirmă această şcoală, proprietăţile obiectului atomic ar exista numai în raport cu corpurile considerate drept mijloace de măsurare.

Recunoaşterea realităţii obiective a mişcării atomice nu are nimic comun cu concepţia complementarităţii şi nici, de exemplu, cu afirmaţia că o mărime ce caracterizează electronul într-o stare dată trebuie considerată ca fiind o caracteristică a interacţiei electronului cu aparatul de măsură.

[1] K. Marx, *Teoriile plusvalorii*, vol. III, 1936, pp. 111—112.
[2] Vezi K. Marx, *Capitalul*, vol. I, ed. P.M.R., p. 88.



Toate acestea au legătură directă cu discuţia dintre Einstein şi Bohr (1935), despre aşa-numita completitudine a mecanicii cuantice, discuţie în care ambii autori au rămas la părerea lor[1].

În această discuţie, a fost analizată, de fapt, problema semnificaţiei fizice a funcţiei de undă. Desigur, poziţiile filozofice ale lui Einstein şi Bohr şi-au găsit expresia în analiza acestei probleme; ne va interesa, în primul rînd, acest aspect al discuţiei.

Einstein arată că putem determina precis, pe cale indirectă, fără interacţia aparatului şi a microobiectului, fie impulsul, fie coordonata, măsurînd, cu ajutorul aparatului, impulsul sau coordonata unui alt microobiect cu care primul obiect a interacţionat cîndva, însă cu care el nu mai interacţionează în momentul măsurării. Sprijinindu-se pe „criteriul realităţii" pe care îl propune (care presupune deducerea realităţii fizice din experienţă şi din măsurători), el atribuie un caracter real impulsului obţinut în modul indicat şi coordonatei primului obiect. Însă mecanica cuantică nu permite să atribuim unui microobiect, atunci cînd îi caracterizăm starea, în acelaşi timp un impuls determinat şi o coordonată determinată. Einstein trage de aici concluzia că mecanica cuantică ar fi incompletă, deoarece nu cuprinde cazul măsurării indirecte a impulsului şi a coordonatei unui microobiect.

De ce a ajuns Einstein la o astfel de concluzie? El a presupus că microobiectul în sine posedă, în acelaşi timp, un impuls şi o coordonată şi că numai acţiunea necontrolabilă a aparatului nu permite ca ele să fie măsurate simultan (Einstein crede că el a reuşit să demonstreze acest lucru printr-o măsurătoare indirectă şi prin „criteriul realităţii" pe care l-a propus). Deoarece mecanica cuantică admite o valoare determinată numai pentru una dintre cele două mărimi dinamic conjugate, pornind de la acţiunea necontrolabilă a aparatului, ar rezulta — după Einstein — concluzia că mecanica cuantică nu este completă.

Einstein a comis o eroare în deducerea concluziei sale. El a considerat că mecanica cuantică (întrucît admite acţiunea necontrolabilă a aparatului asupra obiectului) nu permite să determinăm simultan impulsul şi coordonata obiectului, nici măcar în cazul cînd acest impuls şi această coordonată au fost determinate indirect. În realitate însă, nu mecanica cuantică este cea

[1] Vezi N. Bohr şi alţii, UFN, vol. XVI, fasc. 4, 1936. Vezi de asemenea A. Einstein, *Quantenmechanik und Wirklichkeit*, „Dialectica", 1948, 7/8.

care nu permite etc., ci, în virtutea naturii sale, microobiectul nu are deodată un impuls şi o coordonată (impulsul într-un punct este inaplicabil unui microobiect); determinarea indirectă a lui Einstein nu înseamnă de loc că microobiectul are în acelaşi timp o coordonată şi un impuls (deşi Einstein o credea): microobiectul, pentru care Einstein a dedus pe cale indirectă valori determinate ale impulsului şi coordonatei, era în stări diferite (aparţinea la ansamble diferite). Iată ce n-a luat în considerare, de fapt, Einstein; or, mecanica cuantică admite pentru un obiect în stări diferite un impuls şi o coordonată determinate simultan.

Exemplul considerat de Einstein drept măsurare indirectă a impulsului şi a coordonatei unui microobiect, a arătat propriuzis că, fără influenţa necontrolabilă a aparatului asupra obiectului, îi putem modifica starea, adică putem da funcţiei sale de undă o formă sau alta.

Eroarea lui Einstein a fost indicată pentru prima dată de către L. I. Mandelstam, care a pornit de la conţinutul real al mecanicii cuantice, adică a interpretat funcţia de undă, nu ca pe o descriere a unui microobiect legat printr-o interacţie necontrolabilă de un aparat, ci ca pe o caracteristică a unui ansamblu statistic cuantic. Paradoxul lui Einstein a fost analizat în mod consecvent, în conformitate cu concepţia ansamblelor, de către D. I. Blohinţev, în cartea sa „Bazele mecanicii cuantice", şi paradoxul s-a transformat într-un exemplu care arată, o dată în plus, că concepţia complementarităţii şi conţinutul real al mecanicii cuantice sînt două lucruri diferite.

După cum se ştie, Bohr nu a fost de acord cu Einstein. Pentru Bohr, mecanica cuantică este organic legată de principiul complementarităţii. Prin urmare, întrucît posibilităţile aparatelor de măsură (un aparat poate să măsoare ori impulsul, ori coordonata microobiectului) corespund principiului complementarităţii, — şi după Bohr, aşa se prezintă situaţia şi în paradoxul lui Einstein, — rezultă că mecanica cuantică este o teorie completă. Bohr consideră că paradoxul lui Einstein „pune în evidenţă, de fapt, numai inaplicabilitatea principială a punctului de vedere obişnuit al filozofiei naturale la descrierea fenomenelor fizice de tipul celor cu care avem de-a face în mecanica cuantică"[1].

Poziţia lui Bohr în rezolvarea paradoxului lui Einstein este idealistă, cum era de aşteptat. Acest fapt a determinat o „rezolvare" a paradoxului de către Bohr, pe care D. I. Blohinţev a caracterizat-o drept un „semiadevăr".

[1] N. Bohr şi alţii, UFN, vol. XVI, fasc. 4, 1936, p. 447.



Dar însăşi formularea paradoxului de către Einstein conţinea, de asemenea, un „semiadevăr". Se consideră, de obicei — şi nu putem decît să fim de acord cu aceasta — că Einstein a greşit. Însă totodată, se face abstracţie de faptul că critica pe care Einstein o face, în paradoxul său, şcolii de la Copenhaga putea să conţină ceva din care să profite materialismul (aceasta este tocmai ceea ce numim „semiadevăr" în paradoxul lui Einstein). Să căutăm a pune în evidenţă acest „semiadevăr".

Prin paradoxul său, Einstein a pus (deşi nu a rezolvat-o) problema posibilităţii de a caracteriza obiectiv starea unui obiect atomic, analogă caracterizării unei stări existente în mecanica clasică. Această „nostalgie" a lui Einstein după „starea obiectivă" reiese din exemplul său cu măsurarea indirectă a impulsului şi a coordonatei unui microobiect şi din afirmaţia sa paradoxală că, fără a interacţiona cu obiectul, fără a-l măsura cu ajutorul unui aparat, îi putem modifica starea. Bineînţeles, după concepţia complementarităţii, lucrurile se prezintă aici „cît se poate de bine": ca rezultat al determinării indirecte, s-au modificat „informaţiile asupra stării", iar „informaţiile asupra stării" sînt tocmai starea în sens cuantic (!). După cum ştim însă, un astfel, de răspuns nu este corect. Prin paradoxul său, Einstein a subliniat astfel, de fapt, necesitatea de a căuta „starea obiectivă" la cercetarea fenomenelor atomice.

De ce nu a rezolvat Einstein această problemă? În ultima instanţă, din aceeaşi cauză pentru care Bohr nu a putut s-o pună şi nu a pus-o: concepţiile lui Einstein în problema realităţii au fost influenţate de aceeaşi filozofie a lui Mach, care a influenţat şi concepţiile lui Bohr. La fel cu Bohr, el considera realitatea drept o noţiune derivată, secundară, declarînd primare experienţa şi măsurătorile. De exemplu, emiţînd „criteriul realităţii", pe care îl propunea, el scria că „elementele realităţii fizice . . . trebuie să fie găsite pe baza rezultatelor experimentelor şi măsurătorilor"[1], şi Bohr, răspunzînd lui Einstein i se asociază în întregime în problema „realităţii fizice" (în sensul „rezolvării problemei realităţii pe baza experienţei şi a măsurătorilor").

Trebuie să menţionăm însă că, în unul dintre ultimele sale articole, „Observaţii introductive la noţiunile fundamentale", publicat în culegerea „Louis de Broglie — fizician şi gînditor",

[1] A. Einstein, UFN, vol. XVI, fasc. 4, 1936, p. 440.

Einstein abordează în alt fel problema posibilității de a caracteriza obiectiv starea unui obiect atomic. Drept cerință programatică, în articol este emisă teza „realității stării unui sistem fizic", care există obiectiv, independent de orice fel de observație sau măsurătoare, care poate fi descrisă în principiu prin noțiunile fizice[1]. În acest articol, materialismul spontan al lui Einstein a ieșit în relief cu deosebită pregnanță.

Să revenim la discuția din 1935, dintre Einstein și Bohr. După Einstein, rezulta că, dacă efectuăm măsurătorile și experimentele în așa fel încît aparatul să nu influențeze obiectul măsurat, putem ajunge la realitate ca o categorie obiectivă, dar această încercare a lui Einstein de a găsi categoria obiectivă era o încercare efectuată pe baza ideilor lui Mach și, de aceea, ea nu putea și nu poate să ducă la succes. Einstein este de acord cu afirmația lui Bohr-Heisenberg, că ideia discontinuității acțiunii duce la afirmarea interacției necontrolabile a aparatului și a obiectului. El nu este însă de acord că trebuie să pornim întotdeauna de la ideea de discontinuitate, atunci cînd vorbim despre fenomenele atomice. El dorește ca fizica să pornească de la ideea de continuitate; el a afirmat adeseori acest lucru și a încercat, în mod corespunzător, să realizeze această idee. Paradoxul despre care este vorba reprezintă o abordare a unei astfel de încercări.

Discuția dintre Bohr și Einstein este, așadar, o discuție cuprinsă, într-un fel sau în altul, în cadrul concepțiilor idealiste asupra fenomenelor naturii. Este firesc ca această discuție să nu fi putut rezolva problemele respective: în cel mai bun caz, ea putea să ducă numai la conjecturi despre starea reală a lucrurilor.

În încheiere, să ne oprim la problema unor termeni din mecanica cuantică, utilizați de diferiți autori.

Utilizarea unei anumite terminologii în știință nu este nicidecum o formalitate, ci o problemă esențială. Se știe, de exemplu, cum au folosit idealiștii expresia „materia a dispărut", întrebuințată usuratic din punct de vedere filozofic, de către fizicieni materialiști spontani. Pentru acești fizicieni (de exemplu, pentru fizicianul-materialist rus N. A. Umov), afirmația „materia a dispărut" nu era decît o expresie, neputincioasă din punct de vedere filozofic, nechibzuită, a adevărului că știința a reușit să descopere noi aspecte și proprietăți ale realității obiective. Însă idealiștii „fizici" și filozofici de pe atunci (și de acum) vedeau în „dispariția materiei" o dovadă a falimentului materialismului.

[1] Vezi culegerea *Louis de Broglie — physicien et penseur*, pp. 6—8.



Așadar terminologia greșită, ineficientă din punct de vedere gnoseologic, utilizată de diferiți oameni de știință, este folosită de reacțiunea filozofică la falsificarea științei, la „deducerea" din tezele și din descoperirile științifice a unor concluzii idealiste. Din acest punct de vedere, termenul de „relația de nedeterminare" nu trebuie considerat ca fericit ales pentru denumirea relației cunoscute între mărimile din mecanica cuantică, care se obține din funcția de undă ce caracterizează un ansamblu statistic cuantic. Acest lucru a fost menționat de D. I. Blohințev, care a atras atenția asupra faptului că relația de nedeterminare este „o relație perfect determinată a unor mărimi perfect determinate, anume, a abaterilor pătratice medii" și că denumirea de „nedeterminare" subliniază „numai partea negativă a faptelor — inaplicabilitatea noțiunilor clasice la mișcarea microparticulelor" . . .[1].

Unii autori au încercat să rezolve problema legată de caracterul nesatisfăcător al termenului de „nedeterminare". S-a făcut propunerea ca relația de nedeterminare să fie denumită „relația de imprecizie" (cum obișnuiesc unii fizicieni). Nu putem fi de acord cu aceasta, deoarece relația de nedeterminare este o relație statistică și, ca relație statistică, este absolut precisă: nu putem confunda noțiunea de „imprecizie" cu noțiunea de „statisticitate".

Se știe că termenul de „relație de nedeterminare" este utilizat în tot felul de către idealiști, pentru denaturarea conținutului științific al mecanicii cuantice. În cazul de față, idealismul „fizic" în mecanica cuantică nu mizează atît pe termenul de „nedeterminare" pe cît construiește întreaga „teorie a complementarității", despre care a fost vorba mai sus.

Faptul că școala de la Copenhaga utilizează în mod larg terminologia subiectivistă în mecanica cuantică este bine cunoscut de fizicienii materialiști. În loc de „aparat", la ea figurează „subiectul", sau este vorba de „prepararea obiectului" etc. Această terminologie este legată organic de concepția complementarității și vorbește în mod clar despre caracterul ei idealist, care nu are nimic comun cu conținutul real al mecanicii cuantice.

Se înțelege că simpla înlocuire a terminologiei subiectiviste printr-o alta, „materialistă", păstrînd totodată concepția complementarității, nu are valoare pentru știință. Mai mult, o astfel de înlocuire a terminologiei de fapt este utilă idealiștilor, deoarece ea înseamnă în fond că, din punctul de vedere al conținutului științei, totul ar fi „în ordine" cu această concepție, că nu este nevoie

[1] D. I. Blohințev, *Bazele mecanicii cuantice*, pag. 59.

decît să se corecteze terminologia pentru a „elibera concepția de izul ei idealist". De exemplu, în cartea sa „Materia și lumina"[1], L. de Broglie se declară de acord cu afirmația lui Heisenberg, că „microcosmul nu este o realitate obiectivă, pe care omul poate s-o conceapă independent de aparatul care îl pune în legătură cu ea"[2], însă de Broglie obiectează împotriva concluziilor lui Bohr, că mecanica cuantică ar micșora sau întuneca domeniul de trecere între subiectiv și obiectiv, considerînd că aici are loc „un oarecare abuz de ordin lingvistic"[3].

Vedem, din acest exemplu, că protestul lui de Broglie împotriva concepției complementarității nu merge mai departe de corectarea terminologiei utilizate de Bohr. În ultimele sale lucrări, de Broglie a luat, de astă dată, o poziție hotărîtă împotriva idealismului și a indeterminismului școlii de la Copenhaga.

Așadar, pentru a rezolva corect problema revizuirii termenilor mecanicii cuantice, trebuie în primul rînd să legăm revizuirea de problema conținutului acestei științe, ținînd seama de faptul că principiile și noțiunile ei pot fi denaturate și întunecate — și, în adevăr, sînt denaturate și întunecate, în condițiile date — prin concepțiile idealiste ale fizicienilor înșiși. În caz contrar, independent de bunele intenții, o revizuire „critică" a termenilor va duce la rezultate care, aparent, vor corespunde științei, dar în realitate nu vor face decît să sprijine idealismul.

[1] L. de Broglie, *Matter and Light*, New-York, 1939.
[2] *Ibidem*, p. 252.
[3] *Ibidem*.

*CAPITOLUL III*

## TEORIA MATERIALIST-DIALECTICĂ A CUNOAȘTERII ȘI PRINCIPIUL OBSERVABILITĂȚII ÎN FIZICĂ

### 1. Principiul observabilității, o teză a idealismului „fizic"

Idealismul filozofic și „fizic" modern cultivă ideea după care fizica modernă nu și-ar fi luat conținutul principial din descoperirea electronilor, a radioactivității, a proprietăților discrete ale radiațiilor și din alte descoperiri (care au dus la revoluționarea principiilor și noțiunilor fundamentale ale fizicii clasice), ci din aplicarea așa-numitului principiu al observabilității principiale. În străinătate, a apărut chiar o întreagă „filozofie a observabilității" al cărei reprezentant cel mai de seamă este Eddington.

Creînd un nou „ism" idealist și denumindu-l subiectivism selectiv, Eddington i-a pus la bază următoarea axiomă: fiecare element al cunoașterii științifice trebuie să fie o afirmație care a fost sau va fi rezultatul unui procedeu de observație, dus pînă la capăt[1]. Această axiomă a subiectivismului selectiv este tocmai principiul observabilității.

Dacă analizăm esența principiului observabilității, el se reduce — cum vom arăta mai jos — la o foarte veche afirmație idealistă: cunoașterea fizică este o cunoaștere care se ocupă numai de lucrurile observabile; or, observația fiind efectuată de subiect, cunoașterea fizică, cel puțin în partea ei principală, este subiectivă. Eddington subliniază în fel și chip ideea că „legile și constantele fundamentale ale fizicii (de exemplu, viteza luminii în vid. — *M.O.*) sînt absolut subiective și pot fi deduse a priori"[2].

[1] A. S. Eddington, *The Philosophy of Physical Science*, New York, 1940, p. 10.
[2] *Ibidem*, p. 104.

Fizicieni de seamă, ca Einstein sau Heisenberg, văd în principiul observabilității un fel de pîrghie care le-a permis să creeze, unuia teoria relativității, iar celuilalt mecanica cuantică. Din păcate, unii fizicieni materialişti, induşi poate în eroare de termenul „experienţă", au dat crezare idealiştilor „fizici". Astfel, în conferinţa sa, pătrunsă de idei profunde, despre „Atomi şi corpuscule", ţinută în 1933, Langevin emite o afirmaţie cu care nu putem fi de acord: „În fizică, — spune el, — există un principiu foarte sănătos, care a adus, în particular, servicii de nepreţuit lui Einstein, la elaborarea teoriei relativităţii. El sună: teoria nu trebuie să conţină nimic care să nu aibă un sens experimental şi care să nu corespundă experienţei; dacă nu unui experiment uşor realizabil, atunci măcar unuia mintal"[1].

La prima vedere, face impresia că afirmaţia lui Langevin ar corespunde evoluţiei fizicii; însă esenţa problemei stă în faptul că principiul observabilităţii atribuie „experimentului mintal" o importanţă specifică. Acest „specific" trebuie să-l analizăm.

Rolul pozitiv în dezvoltarea fizicii nu aparţine principiului observabilităţii, ci unui lucru după care fizica se călăuzeşte absolut independent de acest principiu şi pe care idealismul „fizic" caută să-l lege de „observabilitatea principială", şi anume, gîndirii abstracte a oamenilor de ştiinţă. Căci, în cunoaşterea legilor naturii, nu sînt suficiente datele pe care le furnizează observaţia, ci aceasta din urmă trebuie să fie completată prin activitatea gîndirii abstracte, care, ca şi observaţia, se bazează pe experienţă, pe practică.

Într-o teorie fizică corectă, noţiunile şi principiile ei reflectă natura; aceste noţiuni şi principii, verificate în experienţă, sînt adevărate, corespund realităţii obiective. Însă în dezvoltarea fizicii, apar situaţii în care — în anumite condiţii (de exemplu, atunci cînd fizicianul se loveşte în experimentele sale de un nou domeniu de fenomene, la care teoria fizică dată este inaplicabilă, lucru de care fizica nu-şi dă încă seama) — diferitele noţiuni şi principii ale unei anumite teorii corecte nu corespund realităţii obiective. Un experiment nou infirmă susţinerea acestei teorii, că unei anumite noţiuni sau unui anumit principiu i-ar corespunde realitatea obiectivă, şi deci această noţiune sau acest principiu îşi pierde valabilitatea. Se pune întrebarea: are oare dreptul ştiinţa fizică să tolereze noţiuni şi teze despre care s-ar părea că experienţa poate decide în două feluri: le corespunde o realitate obiectivă sau nu

[1] L. Langevin, *Opere alese*, p. 365.



le corespunde; şi dacă are dreptul să le tolereze, atunci care este conţinutul gnoseologic al acestei „toleranţe"? Această problemă se pune în faţa fizicii, atunci cînd, dintr-o teorie fizică veche, se dezvoltă una nouă, iar vechea teorie fizică devine un caz particular, un caz limită al acestei teorii noi.

Va trebui să examinăm, pînă la un anumit grad, problema formării unei noţiuni fizice care reflectă fenomenele naturii. Această problemă a analizat-o în felul său idealismul, iar principiul observabilităţii, după cum vom arăta mai jos, este — într-o anumită măsură — produsul acestei analize. Cum se formează o noţiune fizică, cum apare o oglindire corectă a naturii şi care sînt treptele prin care trece, în acest caz, cunoaşterea umană? Pentru lămurirea acestui lucru, prezintă o importanţă deosebită următoarea idee a lui Lenin: „Abordarea de către inteligenţă (omului) a unui lucru individual, luarea de copii (=concepte) de pe acesta *nu este* un act simplu, nemijlocit, de oglindire inertă, ci un act complex, cu caracter dublu, zigzagat, care *cuprinde în sine* posibilitatea desprinderii fanteziei de viaţă; ba mai mult: posibilitatea *transformării* (şi încă a unei transformări imperceptibile, de care omul nu este conştient) a conceptului abstract, a ideii în *fantezie* (în ultimă instanţă=dumnezeu). Căci şi în cea mai simplă generalizare, în cea mai elementară idee generală... e x i s t ă o anumită frîntură de *fantezie*"[1].

*
* *

După cum se ştie, termenul de „observabil" înseamnă posibilitatea observării obiectelor, a fenomenelor din natură, care există obiectiv, în afara conştiinţei noastre. Observarea obiectelor, a fenomenelor din natură este rezultatul acţiunii lor asupra organelor de simţ ale omului, al acţiunii directe sau efectuate prin intermediul unor sisteme materiale corespunzătoare (aparate fizice). Idealismul filozofic modern, ca şi idealismul „fizic", atribuie noţiunii de „observaţie", de „experiment" etc. o semnificaţie idealistă, negînd existenţa obiectelor şi a fenomenelor fizice în afară şi independent de observaţie şi de experiment, înaintea experienţei etc. Idealismul „fizic" substituie noţiunii de „aparat de măsură" noţiunea de „observator". De exemplu, Eddington afirmă că, atunci cînd formulăm, să zicem, legile mecanicii cuantice, nu avem de-a face cu „particule absolut obiective" şi cu comportarea absolut obiectivă a acestor „particule", ci cu „com-

[1] V. I. Lenin, *Caiete filozofice*, E.S.P.L.P., 1956, p. 300.

portarea lor în observaţie", cu „proprietăţile sugerate de procedeele noastre de observaţie"[1]. În cazul de faţă, nu este vorba numai de un abuz idealist de terminologie (neomachistul Reichenbach renunţă cu plăcere, în mecanica cuantică, la termenul de „observator" şi îl înlocuieşte prin cel de „aparat")[2], ci de faptul că idealismul încearcă să dematerializeze obiectele, corpurile, fenomenele fizice, să le răpească existenţa independentă de observaţie, de măsurătoare, de experienţă.

În problema „observabilităţii", a „accesibilităţii pentru experiment" etc., idealismul „fizic" include şi problema admisibilităţii existenţei unei anumite realităţi (de exemplu, eterul, care posedă proprietăţile unei substanţe, este admisibil din punctul de vedere al fizicii clasice şi nu este admisibil din punctul de vedere al teoriei relativităţii), şi problema fundamentală a teoriei cunoaşterii, anume problema realităţii obiective a lumii fizice, a raportului cunoaşterii noastre cu această lume etc. Se ştie că problema cognoscibilităţii lumii exterioare a fost de mult rezolvată de materialismul dialectic.

Drept exemplu al unei confuzii idealiste de felul celor citate mai sus, ne putem referi la consideraţiile lui Herbert Dingle, pe care le analizează G. Dedourian, în articolul său „Principiul neobservabilului". Vorbind despre „observabilitate principială", Dingle ajunge la o dilemă: ori trebuie să renunţăm la principiul observabilităţii, ori trebuie să renunţăm la „credinţa în existenţa lumii exterioare". Dingle decide să sacrifice „credinţa în existenţa lumii exterioare", pretinzînd că, dacă ar fi să renunţăm la principiul observabilităţii, atunci „nu ne va opri nimic de la speculaţii goale şi *născociri* vane"[3]. Dedourian arată, în mod just, că dilema citată este un rezultat al scornelilor proprii ale lui Dingle, care nu sînt îndreptăţite de fondul lucrurilor. Trebuie să adăugăm că Dingle nu ar fi ajuns la dilema sa, dacă nu ar fi substituit problema gnoseologică a realităţii obiective a lumii fizice şi a cognoscibilităţii ei, prin problema „observabilităţii principiale".

Asemenea afirmaţii pot fi găsite nu numai la Dingle. Astfel, Dirac scrie că „ştiinţa are de-a face numai cu lucruri observabile"[4]. Acelaşi lucru îl afirmă şi Heisenberg. Spre aceeaşi idee

[1] A. S. Eddington, *The Philosophy of Physical Science*, p. 37.

[2] Vezi H. Reichenbach, *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*, pp. 15—16.

[3] H. M. Dedourian, *The Principle of the Unobservable*, „Scientific Monthly", 1944, October, p. 293.

[4] P. Dirac, *Elemente de mecanică cuantică*, p. 11.



înclină, deşi cu unele rezerve, Schrödinger[1]; aceeaşi idee este dezvoltată amănunţit, pe un plan filozofic larg, de către Eddington, fapt despre care am vorbit mai sus.

Dacă Dirac şi ceilalţi autori au dreptate, adică dacă ştiinţa nu are de-a face decît cu „observabilul", aceasta lasă o portiţă de scăpare pentru ideea fideistă că ar exista şi ceva „neobservabil", cu care ştiinţa nu are legătură şi că acest „inobservabil" nu ar fi obiect al ştiinţei, ci al credinţei, al intuiţiei etc. De altfel, Eddington îşi exprimă consideraţiile chiar în acest spirit. Este inutil să repetăm aici adevăruri bine cunoscute pentru un marxist. Reamintim numai că ştiinţa nu se ocupă „numai de lucrurile observabile", ci de lumea obiectivă pe care o reflectă, o cunoaşte din ce în ce mai precis şi mai complet în reprezentările, noţiunile şi teoriile ei.

## 2. Despre „observabil" şi „inobservabil" în fizică

Heisenberg afirmă (ce-i drept, cu multe rezerve) că, pentru descrierea fenomenelor, trebuie să fie utilizate „numai noţiuni bazate în întregime pe experienţă"[2]. Însă această condiţie, în aparenţă legitimă, este prea generală şi lipsită de precizie. De exemplu, Newton considera că noţiunea de spaţiu absolut este o noţiune care se bazează pe experienţă[3] şi, în felul său, avea dreptate, dacă ţinem seama că el se baza pe experienţa limitată a timpului său. Teoria relativităţii respinge această afirmaţie, bazîndu-se iarăşi pe experienţă, după cum crede ea, şi iarăşi are dreptate în felul ei, deoarece teoria relativităţii se bazează pe o experienţă care depăşeşte limitele mecanicii clasice şi restrînge aplicabilitatea ei la fenomenele naturii din domeniul mişcărilor lente (în comparaţie cu viteza luminii).

[1] Vezi observaţia lui E. Schrödinger: „Nu putem spune niciodată ce are loc în realitate..., ci putem numai arăta ce se va observa în cazul de faţă. Trebuie oare să fim satisfăcuţi întotdeauna de o astfel de stare a lucrurilor? În principiu, desigur că da. Exigenţa principială ca o ştiinţă exactă să tindă, în cele din urmă, la descrierea observabilului nu este de loc nouă. Problema care se pune este numai dacă va trebui să renunţăm de a lega această descriere de o anumită ipoteză clară despre felul în care este alcătuită lumea. Mulţi ar dori chiar astăzi să proclame această renunţare. Mie mi se pare însă că, prin aceasta, noi ocolim întrucîtva dificultăţile". (Culegerea *Sovremennaia kvantovaia mehanika*, L.—M., 1934, p. 37).

[2] W. Heisenberg, *Principiile fizice ale teoriei cuantice*, p. 9.

[3] Vezi, de exemplu, experimentul lui Newton cu corabia rotitoare. (I. Newton, *Principiile matematice ale filozofiei naturale*, traducerea lui A. N. Krîlov, M. L., 1936, p. 34; traducerea în l. romînă, Editura Academiei R.P. Romîne, 1956, p. 31).

Referirea la experienţă, luată în sine, nu dă nimic pentru rezolvarea acestui fel de probleme. După cum se ştie, materialiştii şi idealiştii atribuie noţiunii de experienţă conţinuturi opuse. V. I. Lenin a observat că «termenul „experienţă", pe care îşi clădesc machiştii sistemele lor, a servit de foarte mult timp la disimularea sistemelor idealiste . . .»[1]; se ştie că empirismul plat ajunge, prin interpretarea pe care o dă experienţei, la recunoaşterea existenţei spiritului[2]. La fizicieni, chiar şi la acelaşi fizician, cuvîntul experienţă nu are întotdeauna acelaşi conţinut: la Heisenberg, de exemplu, este vorba nu numai de experiment fizic, fără de care nu există şi nu poate exista o teorie fizică, însă foarte des şi de experiment „mintal", care poate fi „efectuat", dacă teoria fizică corespunzătoare este recunoscută ca adevărată.

Ultima idee este menţionată de Planck. După părerea sa, problema admisibilităţii existenţei unei mărimi date — adică problema dacă o mărime dată este „principial observabilă" — este rezolvată de o teorie determinată. „Deosebirea dintre teorii — scrie Planck — stă tocmai în faptul că, după o teorie, o anumită mărime este principial observabilă, o anumită problemă este explicată sub raport fizic, în timp ce, după altă teorie, acest lucru nu are loc. Astfel, după teoria eterului luminos în repaos a lui Fresnel-Lorentz, viteza absolută a Pămîntului este principial observabilă, iar după teoria relativităţii, nu . . . Alegerea între aceste afirmaţii contradictorii nu stă în natura teoriilor înseşi, ci este dată de experienţă"[3].

Putem fi de acord cu Planck, numai cu anumite rezerve importante. Admisibilitatea existenţei unei anumite mărimi poate fi în adevăr determinată de o anumită teorie. De exemplu, conform mecanicii clasice, existenţa impulsului într-un punct este admisibilă. Ea este legată intrinsec de principiile fundamentale ale mecanicii clasice, care oglindesc domeniul proceselor ale căror dimensiuni sînt mari în raport cu lungimea undei lui de Broglie. Conform mecanicii cuantice, existenţa impulsului într-un punct este inadmisibilă, contrazice principiile fundamentale ale acesteia.

Cu alte cuvinte, deosebirea dintre teoriile fizice nu se bazează pe faptul că, după una, afirmaţia existenţei unei anumite mărimi este admisibilă, iar după alta nu, cum afirmă Planck, în fond în spiritul principiului observabilităţii. Dimpotrivă, din faptul

[1] V. I. Lenin, *Opere*, vol. 14, E.S.P.L.P., p. 142.
[2] Vezi F. Engels, *Dialectica naturii*, E.S.P.L.P., p. 45.
[3] M. Planck, *Imaginea lumii în fizica modernă*, UFN, vol. IX., fasc. 4, 1929, pp. 430—431.



că teoriile sînt diferite, iar deosebirea dintre teorii — dacă acestea sînt corecte — este determinată de faptul că ele oglindesc domenii de fenomene diferite, rezultă că, după o teorie, afirmaţia existenţei unei anumite mărimi este admisibilă (are sens), iar după alta, afirmaţia existenţei aceleiaşi mărimi este inadmisibilă (este lipsită de sens).

Este de subliniat că afirmaţia existenţei posibile a unei anumite mărimi nu trebuie numai să concorde cu o teorie dată, nu numai să nu o contrazică şi atît. Această afirmaţie trebuie să rezulte în mod necesar din conţinutul principial al teoriei respective, adică ea trebuie să fie legată în mod necesar printr-un lanţ (scurt sau lung) de deducţii de principiile care stau la baza teoriei. De exemplu, din teoria clasică, rezultă afirmaţia că, în cazul echilibrului termodinamic între radiaţia electromagnetică şi oscilaţiile atomilor, energia este concentrată practic în întregime în această radiaţie (după cum se ştie, această afirmaţie nu era confirmată de experienţă, ceea ce a pus problema inaplicabilităţii mecanicii şi electrodinamicii clasice la microfenomene).

În teoriile fizice verificate de practică, în ştiinţa fizică, este reflectată natura în conexiunile şi în legile ei. După cum a subliniat Lenin, reflectarea naturii în creierul omului este procesul unui şir de abstracţiuni, de formări de noţiuni, de teze etc., care cuprind în mod aproximativ, incomplet, legitatea universală a naturii veşnic în mişcare şi în dezvoltare; cu evoluţia ştiinţei şi a practicii, reflectarea acestei legităţi devine din ce în ce mai precisă şi mai completă. Fizica confirmă ideea lui Lenin: „Omul nu poate cuprinde = reflecta = reproduce *toată* natura, în întregime . . ., el poate numai să se apropie *veşnic* de aceasta, creînd abstracţii, concepte, legi, o imagine ştiinţifică a lumii etc. etc."[1].

Ştiinţa nu ar avea dreptul să se numească ştiinţă, dacă ea nu s-ar dezvolta pe calea unor generalizări din ce în ce mai complete, iar ştiinţa nu poate să generalizeze materialul studiat fără să facă abstracţie de multiplicitatea de laturi, proprietăţi, particularităţi etc. ale unui obiect şi fără să pună în evidenţă aspectele, atributele etc. generale, esenţiale, fundamentale. În fizică, este cu atît mai uşor să se efectueze această muncă de abstractizare a raţiunii, care este necesară pentru cunoaştere, cu cît ea se bazează pe observaţie şi pe experiment: observaţia şi experimentul din fizică presupun că cercetătorul observă procesele din natură acolo unde se manifestă în forma cea mai clară sau creează con-

[1] V. I. Lenin, *Caiete filozofice*, E.S.P.L.P., 1956, p. 151.

diţiile care asigură desfăşurarea procesului în forma pură[1]. De aci rezultă, printre altele, că efectuarea unor observaţii şi experimente fizice presupune o anumită interpretare teoretică şi deci observaţiile şi experimentele dau rezultate cu atît mai corecte, cu cît mai riguros sînt realizate anumite premise teoretice. Ştiinţa merge de la simplu la complex şi, pe această cale, „determinările abstracte duc la reproducerea concretului pe calea gîndirii"[2].

Dacă premisele de la care se porneşte pentru obţinerea unei concluzii sînt corecte, adică dacă ele corespund realităţii obiective, şi dacă aplicăm corect legile gîndirii, atunci şi concluzia obţinută trebuie să corespundă realităţii obiective. Această concluzie trebuie să fie exprimată şi prin extinderea principiilor iniţiale la fenomene noi, în raport cu care aplicabilitatea lor nu este încă stabilită, adică în raport cu care principiile iniţiale, ca şi concluzia însăşi, apar în rolul unei ipoteze. Dacă această concluzie este verificată de experienţă, adică a căpătat o valoare de adevăr obiectiv, aceasta nu înseamnă numai o confirmare în plus a valabilităţii unor anumite teze, a unei anumite teorii (care au servit drept premise pentru obţinerea concluziei), dar şi valabilitatea acestor teze, teorii etc., în aplicaţie la fenomenele noi. Drept exemplu poate servi aici descoperirea, de către P. N. Lebedev a presiunii luminii: ea nu a confirmat, pur şi simplu, valabilitatea ecuaţiilor lui Maxwell, ci a demonstrat că aceste ecuaţii sînt adevărate şi pentru fenomenele luminoase; cu alte cuvinte, descoperirea lui Lebedev a extins limitele de valabilitate ale ecuaţiilor lui Maxwell. În general, creşterea cunoştinţelor şi dezvoltarea ştiinţei extinde limitele de valabilitate ale diferitelor principii şi teorii ştiinţifice. Această idee este confirmată în întregime de evoluţia teoriilor din noua şi vechea fizică.

O dată cu aceasta, înmulţirea cunoştinţelor, dezvoltarea ştiinţei restrîng limitele valabilităţii unor anumite principii ştiinţifice, teorii fizice etc. şi subordonează aceste principii şi teorii unor principii şi teorii noi, care reflectă legi mai profunde ale fenomenelor. Şi în acest caz, ca şi în cel examinat mai sus, o anumită teorie, aplicată la fenomene noi, necunoscute, apare în raport cu ele ca o ipoteză, însă spre deosebire de cazul considerat, observaţia şi experimentul nu o confirmă. Apare necesitatea

[1] În legătură cu aceasta, vezi observaţia lui K. Marx, *Capitalul*, vol. I, Ed. P.M.R., 1948, p. 40.

[2] K. Marx, *Contribuţii la critica economiei politice*, E.S.P.L.P., 1954, p. 226.



unei noi teorii, care să explice aceste fenomene noi. Apar ipoteze noi, care se bazează, la început, pe un material experimental relativ redus. Creşterea acestui material experimental duce la verificarea, corectarea, precizarea ipotezelor şi, în cele din urmă, apare o teorie fundată, care are o valoare de adevăr obiectiv. Toate acestea sînt confirmate de evoluţia fizicii.

Să ne oprim şi la aşa-numitul experiment mintal. Experimentul mintal reprezintă un procedeu de cercetare teoretic destul de răspîndit în fizică şi care dă rezultate valoroase. Experimentul mintal este un experiment, eventual irealizabil în starea actuală a tehnicii, însă care este posibil în principiu din punctul de vedere al fizicii. Operînd cu abstracţiuni fizice, fenomenul sau procesul este studiat în acest experiment într-o formă pură, nealterată de circumstanţele secundare. Experimentul mintal este întotdeauna „efectuat" în cadrul unei anumite teorii şi permite să se obţină concluzii importante pentru această teorie. Un astfel de experiment mintal a efectuat, de exemplu, Sadi Carnot cu maşina cu vapori ideală, obţinînd concluzii importante pentru termodinamică, fapt asupra căruia a atras atenţia Engels[1]. Experimentul mintal, ca procedeu teoretic eficace aplicat în fizică, permite să se traseze liniile generale ale experimentului real.

Desigur caracterul limitat al teoriei în cadrul căreia este „efectuat" experimentul mintal se manifestă şi în caracterul limitat al concluziilor care se obţin din el. De aceea, concluziile obţinute prin intermediul unui experiment mintal, trebuie verificate printr-un experiment real. De obicei, acesta din urmă confirmă concluziile, dacă teoria este corectă şi dacă experimentul mintal a fost „efectuat" în conformitate cu principiile acestei teorii. Se poate însă întîmpla ca experimentul real să nu confirme concluziile obţinute prin intermediul experimentului mintal. În acest caz, sîntem obligaţi să spunem despre experimentul mintal acelaşi lucru ca şi despre teoria pe care se bazează.

La experimente mintale în mecanica cuantică recurge şi Heisenberg, însă experimentele sale mintale se deosebesc în principiu de cele despre care a fost vorba mai sus. Dacă un experiment mintal corespunzînd unei teorii valabile are loc, în ultimă instanţă, cu un obiect real şi cu particularităţile sale, cu specificul său etc., în schimb, Heisenberg îşi efectuează experimentele mintale (pentru deducerea relaţiei $\Delta x \, \Delta p_x \sim \hbar$), comparînd noţiunile corpusculare şi ondulatorii clasice în domeniul atomic; de exem-

[1] Vezi F. Engels, *Dialectica naturii*, E.S.P.L.P., p. 232.

plu, el îşi efectuează experimentele mintale asupra unui electron care interacţionează într-un mod necontrolabil cu un aparat. Propriu-zis, fiecare dintre experimentele sale mintale care, după cuvintele sale, ilustrează relaţia de nedeterminare pe aparate, este un exemplu al acestui mod de tratare.

Heisenberg crede că, făcîndu-şi deducţiile, el se bazează, în ultimă instanţă, pe experienţa reală; de fapt, în consideraţiile sale, experienţa reală nu serveşte drept bază pentru concluziile sale[1]. De aceea, noţiunea de „stare cuantică", elaborată de Heisenberg cu ajutorul experimentelor sale mintale, deşi este o noţiune admisă de teoria sa, nu reflectă realitatea obiectivă (întrucît, în conformitate cu ideile lui Heisenberg, ea reprezintă, după cum se ştie, o categorie „instrumentală"). Propriu-zis, experimentele mintale ale lui Heisenberg au servit şcolii de la Copenhaga pentru un fel de fundamentare a mecanicii cuantice. După cum am lămurit în paragraful 2, cap. II., mecanica cuantică este cea care serveşte în realitate drept bază pentru experimentele mintale corespunzătoare. Experimentele mintale ale lui Heisenberg au fost supuse unei analize critice în literatura de fizică. În legătură cu aceasta, citäm analiza lui L. I. Mandelştam şi a lui D. I. Blohinţev, relativă la experimentul mintal al lui Heisenberg cu microscopul folosit la determinarea poziţiei unui electron[2].

Să revenim la principiul observabilităţii. Dacă Heisenberg pune în evidenţă aşa-numita observabilitate, ca o bază gnoseologică a dezvoltării fizicii, unii autori consideră că drept o astfel de bază poate fi luată aşa-numita inobservabilitate. În această privinţă, sînt semnificative părerile exprimate de A. Sommerfeld. În articolul său „Starea actuală a fizicii atomice", Sommerfeld scrie: „În timp ce Heisenberg foloseşte în mod precaut numai mărimile observate experimental, Schrödinger şi, într-o măsură şi mai mare, predecesorul său, L. de Broglie, depăşesc cu îndrăzneală limitele experienţei şi construiesc formaţii ondulatorii situate dincolo de limitele accesibile experimentului şi care deci sînt suprafizice *(metaphysikalisch)*"[3].

Sommerfeld denumeşte, în mod absolut eronat, undele lui de Broglie şi Schrödinger „metafizice", „suprafizice", inaccesibile

[1] În legătură cu aceasta, vezi cap. II.

[2] Vezi D. I. Blohinţev, *Bazele mecanicii cuantice*, pp. 62—63; L. I. Mandelstam, *Polnoe sobranie trudov*, vol. V, p. 396 şi urm.

[3] A. Sommerfeld, *Starea actuală a fizicii atomice*, UFN, vol. VII, fasc. 3/4, 1927, pp. 166—167. Ne-am permis să precizăm traducerea cuvîntului *„metaphysikalisch"*.



experienţei, inobservabile. Formaţiile ondulatorii ale lui de Broglie-Schrödinger, adică interpretarea iniţială pe care o dădeau de Broglie şi Schrödinger funcţiei de undă, trebuie să fie denumite ipotetice. Aceste ipoteze au fost înrudite cu concepţiile ondulatorii clasice; după cum se ştie, ele au căzut şi astăzi este adoptată interpretarea statistică a funcţiei de undă.

Greşeala analizată de noi sare în ochi, dacă considerăm următoarea afirmaţie a lui Sommerfeld:

„Această tendinţă de a se limita la ceea ce este direct observabil (este vorba de ideile lui Heisenberg în teoria cuantică. — *M.O.)* se bazează, în ultimă instanţă, pe filozofia lui Mach şi a condus, cu 30 de ani, în urmă, la propagarea aşa-numitei energetici, care recunoştea drept date fizice şi drept mărimi observabile numai valorile energiei. Energeticii îi poate fi opusă o teorie cinetică a gazelor, tot atît de rodnică, în care drept elemente obligatorii figurează noţiunile de poziţie şi de viteză ale moleculelor, care caracterizează stările; deşi acestea par a fi prea puţin observabile în fiecare experiment în parte, însă nu pot fi eliminate din teorie ca mărimi"[1].

Sommerfeld are, fără îndoială, dreptate în critica lui Heisenberg. În acelaşi timp, trebuie să atragem atenţia asupra faptului că poziţiile şi vitezele unei molecule, considerate de Sommerfeld drept inobservabile se refereau, înainte de experimentele lui Perrin, la domeniul ipoteticului; ele pot fi raportate, pe bună dreptate, la noţiunile admise de mecanica clasică, întrucît mecanica clasică (care operează cu noţiunile de poziţie şi de viteză ale unei particule) se află în legătura cea mai strînsă cu teoria cinetică a gazelor.

Ce reprezintă atunci forma de evoluţie a ştiinţelor naturii şi, în primul rînd, a fizicii ca ştiinţă?

În conformitate cu concepţiile idealiste, unii fizicieni au proclamat drept o astfel de formă principiul observabilităţii. Alţi fizicieni afirmă că metoda bazată pe „inobservabil" dă rezultate eficace, sau că şi o metodă şi cealaltă, şi cea a lui Heisenberg şi ceea a lui Schrödinger, „cu toată opoziţia lor", sînt amîndouă verosimile, deoarece ele sînt „justificate" de experienţă; astfel raţionează, de exemplu, Sommerfeld.

În realitate însă, nici principiul observabilităţii, nici metoda bazată pe „inobservabil" nu contribuie la progresul fizicii. Ele

[1] A. Sommerfeld, *Atombau und Spektrallinien. Wellenmechanischer Ergänzungsband*, Braunschweig, 1929, S. 44.

reprezintă principii dezvoltate pe terenul idealismului, care frînează dezvoltarea fizicii. Problema formei de dezvoltare a ştiinţelor naturii a fost rezolvată de Engels, şi de la această soluţie trebuie să pornim, dacă vrem să înţelegem dezvoltarea fizicii moderne. Citäm cuvintele lui Engels: „Forma de dezvoltare a ştiinţelor naturii, în măsura în care ele gîndesc este *ipoteza*. Observaţia descoperă un fapt nou care infirmă vechiul mod de a explica faptele care fac parte din acelaşi grup. Din acest moment apare necesitatea unui nou mod de explicare, bazat mai întîi numai pe un număr limitat de fapte şi observaţii. Materialul experimental ulterior duce la trierea acestor ipoteze, înlătură unele din ele, le corectează pe altele, pînă ce, în sfîrşit, este stabilită legea sub formă pură. Dacă am voi să aşteptăm pînă ce materialul necesar formulării legii este *pur*, ar însemna să suspendăm pînă atunci cercetarea bazată pe gîndire, ceea ce ar avea ca rezultat că nu am ajunge niciodată să formulăm legea"[1]. Această afirmaţie a lui Engels dă un fir conducător pentru înţelegerea dezvoltării fizicii, inclusiv a fizicii timpului nostru.

Să ne oprim, în încheiere, asupra problemei raportului dintre ipoteză şi adevărul obiectiv; fără lămurirea acestei probleme, nu se poate înţelege de ce ipoteza este o formă de dezvoltare a fizicii.

Fizicienii care limitează cunoaşterea fenomenelor fizice numai la „observabil" şi nu acordă ipotezei nici o valoare euristică, susţin prin aceasta, în esenţă, linia idealismului. În cazul de faţă, aceasta înseamnă nerecunoaşterea adevărului obiectiv, negarea tezei materialismului dialectic, că fenomenele fizice reprezintă diferite forme de mişcare a materiei, care există în afara conştiinţei şi independent de ea şi care este cunoscută din ce în ce mai complet şi mai profund, cu fiecare pas al dezvoltării ştiinţei. În conformitate cu aceasta, idealismul modern şi, în primul rînd, idealismul de nuanţă subiectivistă tratează teoriile atomiste şi alte teorii ale fizicii drept „ipoteze de lucru". Cu alte cuvinte, idealismul înţelege teoria fizică numai ca o sistematizare a „observabilului" care ieri era ceva, astăzi este altceva, iar mîine poate fi iar altceva, ceea ce ar demonstra că teoria fizică nu ar avea nimic comun cu realitatea obiectivă, chiar dacă se admite existenţa unei atari realităţi. După cum se ştie, în cartea „Materialism şi empiriocriticism", V. I. Lenin a demascat astfel de subterfugii idealiste, nelăsînd piatră peste piatră din toate construc-

[1] F. Engels, *Dialectica naturii*, E.S.P.L.P., 1954, p. 245.



ţiile lui Mach şi ale elevilor săi. „Ipoteza de lucru" a idealiştilor subiectivi moderni nu are, în fond, nimic comun cu ipoteza, considerată ca o supoziţie justificată ştiinţific asupra unor fapte sau legi, în scopul cunoaşterii lor.

Rezolvarea corectă a problemei esenţei gnoseologice a ipotezei este dată numai de materialismul dialectic. În ce stă valoarea ipotezei? Ea stă în aceea că ipoteza duce la cunoaşterea adevărului obiectiv, la cunoaşterea certă a legilor naturii. Dacă ipoteza nu corespunde acestei meniri a ei, ea nu are dreptul să se numească ipoteză şi trebuie exclusă din ştiinţă. Fiind verificată şi confirmată prin experienţă, ipoteza se transformă într-o teorie ştiinţifică certă, cu caracter de adevăr obiectiv şi, prin aceasta, ea îşi îndeplineşte menirea, încetînd de a exista ca ipoteză. Experienţa poate să nu confirme o ipoteză; atunci ipoteza este înlăturată; însă şi în acest caz, ipoteza îşi îndeplineşte rolul, ce-i drept într-un sens negativ, deoarece neconfirmarea ei prin experienţă înseamnă că cercetarea a mers pe o cale greşită.

Din acest punct de vedere, ipoteza reprezintă o posibilitate de cunoaştere a adevărului obiectiv. Această posibilitate se transformă în realitate în prezenţa condiţiilor corespunzătoare, printre care locul cel mai important îl ocupă experimentul. „Sistemul solar al lui Copernic a fost, timp de trei sute de ani, o ipoteză pe care puteai să pariezi o sută, o mie, zece mii contra unu, dar totuşi numai o ipoteză. Cînd însă Leverrier, pe baza datelor pe care le oferea acest sistem, nu numai că a dovedit că trebuie să mai existe o planetă necunoscută pînă atunci, ci a şi calculat locul unde trebuia să se găsească această planetă în spaţiul ceresc, şi cînd mai tîrziu Galle descoperi într-adevăr această planetă, sistemul lui Copernic era dovedit"[1]. Este clar că aceste idei profunde ale lui Engels sînt valabile şi referitor la teoria atomică şi la multe alte teorii din fizică.

### 3. Principiul observabilităţii şi teoria relativităţii

Să revenim la problema principiului observabilităţii. Oare în adevăr metoda bazată pe „observabilitate" dă rezultate efective, adică are oare principiul observabilităţii o valoare euristică?

Idealistul „fizic" Eddington rezolvă în mod afirmativ această problemă. „De îndată ce întrebăm — scrie el — ce ob-

[1] K. Marx şi F. Engels, *Opere alese*, vol. II, E.S.P.L.P., 1955, p. 402.

servăm în mod real, schema clasică a fizicii plesneşte ca un balon de săpun şi păşim pe calea unei revoluţii, al cărei sfîrşit nici nu se vede"[1]. Această „revoluţie" a lui Eddington constă, după cum se vede, în următoarele. Se pune întrebarea: ce observăm în mod real? La care urmează răspunsul: observăm numai relaţiile; astfel apare teoria relativităţii. Se repetă întrebarea: ce observăm în mod real în atom? La care se dă răspunsul: observăm numai probabilităţile; astfel apare mecanica cuantică modernă[2].

Se ştie că teoria relativităţii nu se ocupă numai de relaţii, iar mecanica cuantică, nu numai de probabilităţi. Dar idealismului puţin îi pasă de fapte, de conţinutul real al fizicii; de dragul unei scheme goale, idealismul falsifică, ucide ceea ce este real, viu, conţinutul ştiinţei care se dezvoltă.

Trebuie să analizăm schema de „observabilitate" a lui Eddington, căreia el a încercat să-i supună apariţia şi dezvoltarea fizicii moderne: acest lucru se referă direct la tema noastră.

După Eddington, cunoaşterea fizică este, în fondul ei, „o cunoaştere observatorie"; ea s-ar obţine pe calea cercetării procedeului de observaţie, a „metodelor senzoriale şi intelectuale" aplicate în observaţie (nu pe calea generalizării faptelor obţinute prin intermediul observaţiei). El pretinde că, pe această cale epistemologică apriorică, am obţine cunoaşterea legilor şi constantelor fundamentale ale fizicii, care, după cum am arătat mai sus, sînt — după Eddington — „perfect subiective şi pot fi deduse a priori".

În ce mod se deduc *a priori* legile şi constantele fundamentale ale fizicii? Pentru aceasta, din „schema unanim acceptată a fizicii" (Eddington caracterizează prin aceste cuvinte ştiinţa fizică dinainte de teoria relativităţii), se elimină ceea ce nu se observă în mod precis (este inobservabil), deşi părea observabil în fizica clasică. Mai departe, „dezvoltînd consecinţele din cunoaşterea acestei inobservabilităţi, putem deduce legile naturii care fuseseră descoperite înainte sau sugerate empiric, şi astfel, în loc de a le întemeia *a posteriori*, să le întemeiem *a priori*"[3], iată ce afirmă Eddington.

Însă cum se realizează în mod concret acest procedeu al lui Eddington? „Ajungem la cunoaşterea precisă a faptului că o mărime este inobservabilă, — scrie Eddington, — nu ca o consecinţă a unor încercări nereuşite de a o observa; noi ajungem la ea ca rezultat al cercetării definiţiei acestei mărimi, atunci cînd se constată că ea conţine sau o contradicţie, sau un cerc vicios, sau o altă eroare de logică"[1].

Toate aceste consideraţii ale lui Eddington nu au nimic comun nici cu ştiinţa, nici cu istoricul real al teoriei relativităţii şi al mecanicii cuantice. Să arătăm acest lucru, la început pentru teoria relativităţii.

În literatură, este destul de larg răspîndită, părerea că „inobservabilitatea principială" a simultaneităţii absolute i-ar fi furnizat lui Einstein baza pentru critica concepţiilor despre spaţiu şi timp ale fizicii clasice şi că această critică ar fi dus la relativitatea restrînsă care, după cum se ştie, nu conţine noţiunea de timp absolut.

Pretextul pentru aceasta a fost dat de unele afirmaţii ale lui Einstein, creatorul teoriei relativităţii. În lucrarea „Contribuţii la electrodinamica corpurilor în mişcare" (1905), în care a fost expusă pentru prima dată relativitatea restrînsă, şi în alte lucrări consacrate acestei teorii, ţinînd seama de rezultatele experimentului lui Michelson-Morley, el recurge adeseori la anumite experimente mintale, care-i permit să formuleze ceea ce, după cuvintele sale, este „definiţia cea mai naturală a simultaneităţii", incompatabilă cu concepţia timpului în fizica clasică[2]. Bazîndu-se pe această definiţie, el constată că contradicţia care se credea că ar exista între principiul relativităţii şi principiul constanţei vitezei luminii este doar aparentă. De aici, se pot deduce transformările lui Lorentz, pe care se bazează noua teorie fizică a spaţiului şi a timpului.

Eddington transformă concluzia lui Einstein despre caracterul relativ al simultaneităţii într-o problemă pur logică. El raţionează astfel: să presupunem că putem compara momentele de timp în locuri diferite, cu ajutorul unor semnale luminoase, introducînd corecţia pentru timpul de propagare: atunci însă cînd vom dori să determinăm ultima corecţie, vom constata că, pentru aceasta, avem nevoie de indicaţii cum să măsurăm timpul care s-a scurs, cu ajutorul unor ceasornice potrivite în aşa fel încît să

[1] A. S. Eddington, *The Philosophy of Physical Science*, p. 31.
[2] Vezi *ibidem*, pp. 28—48, 89—104, passim.
[3] *Ibidem*, p. 41.



[1] A. S. Eddington, *The Philosophy of Physical Science*, p. 39.
[2] A. Einstein, *Despre relativitatea restrînsă şi relativitatea generalizată*, citat după traducerea lui S. I. Vavilov, Petrograd, 1922, p. 27. În această lucrare de popularizare, poziţia filozofică a lui Einstein faţă de cercetarea problemelor fizice apare în mod deosebit de pregnant.
[2] A. S. Eddington, *The Philosophy of Physical Science*, p. 39.

arate simultaneitatea. Aşadar, această definiţie a simultaneităţii evenimentelor în două locuri diferite, rezumă Eddington, conţine un cerc vicios. Punerea în evidenţă a acestei erori logice ar duce, după el, la teoria relativităţii.

Eddington are perfectă dreptate, atunci cînd vorbeşte în acest mod despre simultaneitate, dar el are dreptate numai din punctul de vedere al interpretărilor subiectiviste ale rezultatelor teoriei relativităţii, răspîndite în literatura din străinătate. În realitate, teoria relativităţii nu are nimic comun cu consideraţiile lui Eddington despre simultaneitate, „observabilitate" etc.

În primul rînd, Eddington greşeşte, afirmînd că raţionamentul de mai sus, pe care îl atribuie fizicii clasice, s-ar roti într-un cerc vicios. Acest raţionament este analog cu următorul: măsurarea timpului presupune folosirea unui etalon de timp, reprezentînd un fenomen care se desfăşoară cu o viteză constantă; totodată, cunoaşterea faptului că un fenomen se desfăşoară cu o viteză constantă ar fi posibilă, numai atunci cînd dispunem de o metodă pentru măsurarea timpului.

Însă afirmaţia că un anumit fenomen, luat drept etalon de timp, se desfăşoară cu o viteză constantă nu este un rezultat al măsurării acestui fenomen, deoarece măsurarea unui etalon este lipsită de sens. Ea nu este nici o „cerinţă" impusă de experimentator pe baza „liberei alegeri", după cum afirmă Einstein. Această afirmaţie reprezintă o anumită concluzie a cunoaşterii noastre asupra procesului de măsurare în ansamblu, în care un anumit fenomen figurează drept etalon.

Definiţia unui etalon de timp se bazează pe recunoaşterea existenţei unor fenomene care se desfăşoară cu o viteză constantă, după cum definiţia unui etalon de lungime se bazează pe recunoaşterea existenţei corpurilor solide. Afirmaţii asupra constanţei vitezei cu care se desfăşoară un anumit fenomen este adevărată numai în anumite limite, determinate de natura sa, care pot fi stabilite luînd drept punct de plecare o teorie care reflectă legile unui anumit domeniu de fenomene fizice. Faptul că constanţa vitezei cu care se desfăşoară diferitele fenomene este limitată de anumite condiţii nu împiedică, în nici un fel, folosirea acestor fenomene drept etaloane de timp, după cum faptul că corpurile macroscopice reale nu sînt corpuri absolut rigide nu împiedică utilizarea lor drept etaloane de lungime. Trebuie să tindem însă ca condiţiile reale de măsurare să nu influenţeze etalonul sau, în orice caz, ca această influenţă să fie cunoscută. Cît priveşte măsurarea timpului, fenomenul de propagare a luminii este deosebit de convenabil: viteza de propagare a luminii în vid reprezintă o mărime constantă, după cum rezultă din legile electromagnetismului.



Măsurarea mărimilor fizice, care caracterizează diferite corpuri şi fenomene, mai presupune, în afară de existenţa corpurilor sau a fenomenelor reale care servesc la această măsurare, şi cunoaşterea legilor corpurilor sau fenomenelor măsurate. Acest lucru este valabil şi pentru măsurarea timpului şi a simultaneităţii. Teoria relativităţii nu se deosebeşte de fizica clasică prin aceea că prima dă o definiţie a simultaneităţii, în timp ce a doua nu o dă. Fizica clasică a dat şi dă întotdeauna, ce-i drept adesea într-o formă implicită, o definiţie a simultaneităţii care este „tot atît de bună", în sensul justificării ei, ca şi definiţia simultaneităţii din teoria relativităţii. De aceea, nu putem fi de acord cu afirmaţia că definiţia simultaneităţii în teoria relativităţii ar fi mai „naturală" decît în fizica clasică. Teoria relativităţii se deosebeşte de fizica clasică în problema definirii simultaneităţii numai prin faptul că, în afară de utilizarea luminii, ea presupune recunoaşterea existenţei legilor unui domeniu mai larg de fenomene decît mecanica clasică (a cărei aplicabilitate la fenomenele de mişcare a corpurilor este mai limitată decît aplicabilitatea relativităţii restrînse).

Fizicienii care se ridică împotriva teoriei relativităţii şi care susţin caracterul universal al noţiunii de aşa-numită simultaneitate absolută, nu văd caracterul limitat al unor anumite definiţii pe care le-a elaborat mecanica clasică, printre care este şi definiţia simultaneităţii. Acest caracter limitat se explică prin faptul că mecanica clasică nu poate fi extinsă la mişcările corpurilor macroscopice care au loc cu viteze apropiate de viteza luminii. Necunoscînd acest caracter limitat sau ignorîndu-l, ei au utilizat definiţiile mărimilor temporale şi ale altor mărimi din mecanica clasică într-un domeniu de fenomene pe care mecanica clasică nu era în stare să-l descrie. Toate acestea sînt confirmate de numeroase date experimentale. De exemplu, dacă experienţa lui Michelson, care a arătat imposibilitatea de a pune în evidenţă mişcarea Pămîntului în raport cu eterul, ar fi dat un rezultat afirmativ, atunci Einstein nu ar fi „efectuat" experimentele sale mintale, pe care le-a folosit la deducerea caracterului relativ al simultaneităţii.

Aşadar, pretinsa „inobservabilitate" a simultaneităţii absolute nu a avut nimic comun cu elaborarea teoriei relativităţii.

Noţiunea de simultaneitate absolută oglindeşte realitatea obiectivă; acest lucru este dovedit de realizările mecanicii clasice în rezolvarea nenumăratelor probleme puse de tehnică şi de practică în general. Ca orice altă noţiune fizică, ea oglindeşte în mod limitat, incomplet, aproximativ legile corespunzătoare ale naturii; în cazul de faţă, limitele ei sînt determinate de condiţiile de aplicabilitate ale fizicii clasice. Aceste limite pot fi stabilite, luînd drept punct de plecare teoria relativităţii restrînse. Din acest punct de vedere, definiţiile care figurează într-o anumită teorie fizică sînt complete şi exacte, în măsura permisă de aplicabilitatea acestei teorii la fenomenele fizice corespunzătoare.

„Observabilitatea" nu are nimic comun nici cu apariţia teoriei relativităţii. Şi aici, rolul determinant l-a jucat experienţa, care a descoperit fenomene ce nu au putut fi cuprinse de fizica clasică. Noua experienţă a creat terenul pe care a crescut teoria relativităţii, care reprezintă un nou jalon în cunoaşterea fenomenelor fizice; este cu totul greşită afirmaţia, pe care o fac idealiştii „fizici", că noua experienţă nu ar fi fost decît un pretext pentru eliminarea „inobservabilului".

Cum a apărut istoric teoria relativităţii? La teoria relativităţii au dus contradicţiile în dezvoltarea electrodinamicii corpurilor în mişcare. Teoria relativităţii a rezolvat aceste contradicţii. Fizica clasică nega posibilitatea existenţei unui sistem absolut în repaus pentru mecanica mişcărilor neaccelerate, în timp ce, pentru eletrodinamică, ea recunoştea posibilitatea unei asemenea presupuneri; ea a introdus eterul ipotetic, ca purtător al unui sistem de coordonate „preferenţial". Ipoteza eterului a fost o încercare de a explica fenomenele electromagnetice, deci şi cele optice, pe baza noţiunilor mecanicii, aşa cum se considera în fizica clasică. Experimentul lui Michelson a arătat însă că, în raport cu Pămîntul în mişcare, lumina se propagă cu aceeaşi viteză în toate părţile, contrar teoremei compunerii vitezelor. S-a stabilit astfel că, chiar dacă eterul ar exista, determinarea experimentală a vitezei în raport cu eterul este imposibilă. Păstrînd principiile fizicii clasice, Lorentz a emis ipoteza că corpurile care se mişcă în eter se contractă în direcţia mişcării, într-un raport care să compenseze, în conformitate cu ipoteza eterului, efectul aşteptat în experimentul lui Michelson. Cu alte cuvinte, Lorentz nu interpreta experimentul lui Michelson ca o confirmare a principiului relativităţii, ci ca existenţă a unei proprietăţi a corpurilor în mişcare, în virtutea căreia viteza absolută a Pămîntului devine „principial inobservabilă".



Ipoteza lui Lorentz era introdusă întrucîtva artificial, ceea ce recunoaştea şi autorul ei[1]; totodată, această ipoteză introducea în fizică un fel de „lucru în sine", în spiritul lui Kant, sub forma vitezei absolute a Pămîntului, „principial inobservabilă". Fizica a pornit pe o cale bună, numai atunci cînd a renunţat la ideea reducerii fenomenelor electromagnetice la fenomene mecanice. În fizică, s-a afirmat ideea legăturii, a unităţii fenomenelor mecanice şi electromagnetice. O dată cu aceasta, au căzut, în mod natural, şi eterul ipotetic al fizicii clasice şi ipoteza lui Lorentz, în locul cărora Einstein a introdus drept premise, în primul rînd, postulatul denumit de el „principiul relativităţii", şi în al doilea rînd, principiul constanţei vitezei luminii.

Noţiunea de repaus absolut nu reflectă realitatea obiectivă, nu numai în domeniul mecanicii mişcărilor neaccelerate, dar nici în domeniul electrodinamicii corpurilor care se mişcă fără acceleraţie, iată ideea care răzbate în consideraţiile lui Einstein despre compatibilitatea principiului relativităţii şi a principiului constanţei vitezei luminii, despre caracterul relativ al simultaneităţii etc. Teoria relativităţii a legat mecanica clasică şi electrodinamica într-o unitate superioară şi a revizuit noţiunile şi tezele fundamentale ale mecanicii clasice, referitoare la lungime şi durată, la masă, energie, impuls etc., supunîndu-le unor noţiuni şi teze fizice noi, care reflectă mai complet şi mai adînc materia în mişcare. Pentru fizica clasică, spaţiul şi timpul erau, în fond, entităţi independente; în legile mecanicii clasice, noţiunile spaţiale şi temporale apăreau fără nici o legătură unele cu altele. Teoria relativităţii a arătat caracterul unilateral al acestei concepţii asupra spaţiului şi timpului; în definiţiile şi în principiile ei, spre deosebire de mecanica clasică, se subliniază necesitatea de a considera spaţiul şi timpul în legătura lor indistructibilă. Acest lucru se exprimă în aparatul matematic al teoriei relativităţii, în care figurează vectori şi tensori cuadridimensionali, spaţio-temporali. Legătura indistructibilă dintre spaţiu şi timp, pusă în evidenţă de teoria relativităţii, a dus la concluziile „revoluţionare", din punctul de vedere al vechii fizici, asupra dependenţei mersului unui ceasornic de starea de mişcare, asupra variaţiei masei în funcţie de viteză, asupra legăturii dintre masă şi energie; toate aceste concluzii au fost confirmate de experienţă.

[1] Vezi G. A. Lorentz, *Fenomenele electromagnetice într-un sistem care se mişcă cu o viteză arbitrară, mai mică decît viteza luminii.* Culegerea *Prinţip otnositelnosti,* L., 1935, p. 19.

Aceste idei profunde ale teoriei relativităţii sînt însă întunecate prin consideraţiile după care conţinutul principal al teoriei relativităţii ar fi „relativitatea", iar legile teoriei relativităţii ar rezulta din „definiţia simultaneităţii" etc. În astfel de consideraţii se susţin concepţii greşite, după care lungimea, durata, mişcarea, nu sînt pe atît proprii corpurilor fizice, pe cît se reduc la raporturile acestor corpuri cu corpurile de referinţă, că legile teoriei relativităţii ar fi legi care „descriu" starea aparatelor de măsură şi a ceasornicelor[1] etc. Termenul de „teoria relativităţii" nu redă suficient de complet noile realizări ale ştiinţei, pe care le-a adus dezvoltarea fizicii.

Împotriva termenului de „teoria relativităţii" au luat poziţie H. Minkowski, A. Sommerfeld, L. I. Mandelştam, care au propus să se înlocuiască termenul de „teoria relativităţii" prin termenul „teoria invarianţei fenomenelor din natură"[2].

Desigur, nu este vorba numai de faptul că termenul de „teoria relativităţii" este nefericit ales. Ca şi în întreaga fizică modernă, în teoria relativităţii se desfăşoară o luptă acerbă între materialism şi idealism, care a început încă din timpul creării acestei teorii.

Prin concepţiile sale filozofice, Einstein se găsea sub influenţa subiectivismului lui Mach, şi acest lucru a influenţat, într-o serie de cazuri, interpretarea pe care a dat-o el teoriei relativităţii, atunci cînd principiul observabilităţii a jucat un anumit rol. Rolul principal al „observatorului" în problemele referitoare la legile teoriei; afirmaţia că lungimea unui corp în mişcare şi mersul unui ceasornic în mişcare depind de alegerea sistemului de referinţă; afirmaţiile după care, din analiza noţiunii de măsurare şi din definiţia simultaneităţii, ar rezulta toate premisele necesare pentru rezolvarea problemelor spaţiului, timpului şi ale mişcării, iată unele momente izolate din ceea ce a introdus în teorie principiul observabilităţii şi ceea ce este străin de conţinutul ştiinţific al teoriei relativităţii. Expunerea şi tratarea pozitivistă a teoriei relativităţii, asupra căreia insistă idealismul „fizic", nu au nimic comun cu esenţa acestei teorii, care nu studiază „legile referitoare la aparate de măsură şi la ceasornice", ci legile obiective ale mişcării corpurilor.

[1] Vezi A. Einstein, *Bazele relativităţii generalizate*, culegerea *Principi otnositelnosti*, p. 232.

[2] A. Sommerfeld, *Mehanika*, M., 1947, p. 26. Vezi şi L. I. Mandelştam, *Polnoe sobranie trudov*, vol. V, 1950, p. 240 şi urm.



O analiză cît de cît amănunţită a acestor probleme depăşeşte cadrul lucrării de faţă. Aşadar, nici conţinutul teoriei relativităţii, nici istoricul ei, nu dau vreun motiv pentru afirmarea valorii euristice a principiului observabilităţii. Dimpotrivă, conţinutul şi istoricul teoriei relativităţii infirmă acest principiu. Introdus în teoria relativităţii din filozofia lui Mach, principiul observabilităţii denaturează noţiunile şi principiile acestei teorii. Pe principiul observabilităţii se sprijină interpretările subiectiviste, date teoriei relativităţii de către idealiştii „fizici".

### 4. Principiul observabilităţii şi teoria cuantică

Conţinutul real şi istoricul dezvoltării teoriei cuantice, ca şi ale teoriei relativităţii nu au nimic comun cu principiul observabilităţii.

Sursa mecanicii cuantice este experienţa care a descoperit proprietăţile materiei, la nivelul ei atomic. Aplicarea teoriilor fizicii clasice la problemele apărute în legătură cu descoperirea fenomenelor atomice a dat naştere în fizică la contradicţii, deoarece rezultatele acestei aplicări nu corespundeau faptelor. Rezolvarea acestor contradicţii a dus la apariţia, iar apoi la dezvoltarea ideilor cuantice, care se depărtau din ce în ce mai mult de fizica clasică. Celebra ipoteză a lui Planck, din care s-a născut fizica cuantică, a apărut din conflictul între fizica clasică şi problema radiaţiei termice, pe care fizica clasică nu a putut să-l rezolve.

Din punctul de vedere al fizicii clasice, nu puteau fi rezolvate nici problema stabilităţii atomilor (după descoperirea constituţiei lor), nici problema spectrelor (legată organic de problema mişcării electronilor în atomi) etc.

Ultimele probleme au fost rezolvate de teoria atomului lui Bohr (1913), a cărei trăsătură principală este afirmarea caracterului discret al stărilor energetice ale atomului. Această teorie, ale cărei postulate aveau un caracter de ipoteză, a explicat seriile spectrale, experimentele lui J. Franck şi G. Hertz (în care postulatele cuantice ale lui Bohr şi-au găsit o confirmare experimentală) etc.

Teoria atomului lui Bohr a fost numai treapta iniţială a mecanicii cuantice. Fundamentele postulatelor ei rămîneau încă complet ininteligibile şi, ceea ce este cel mai important, ea s-a dovedit incapabilă de a rezolva problema atomului de heliu, fără să mai vorbim despre atomii mai grei, ea nu a explicat

structura complexă a liniilor spectrale şi o seamă de alte fenomene. Această contradicţie între faptele atomice şi teoria lui Bohr, aplicată lor (ca şi problema întemeierii postulatelor acestei teorii), a fost rezolvată — după cum se ştie — de mecanica cuantică actuală. Excelenta confirmare experimentală a ideii fundamentale a mecanicii cuantice asupra proprietăţilor ondulatorii ale substanţei este dată de descoperirea difracţiei electronilor şi a altor microparticule.

În crearea mecanicii cuantice actuale, a revenit un rol deosebit matematicii. Aplicarea matematicii a căpătat în fizica nouă o anvergură deosebit de mare. În condiţiile dezvoltării ştiinţei din secolul XX în ţările capitaliste, aceasta a servit — după cum a arătat Lenin — drept una dintre cauzele idealismului „fizic". „Tentativele reacţionare sînt generate de însuşi progresul ştiinţei. Marile progrese ale ştiinţelor naturii, apropierea de elementele omogene şi simple ale materiei, ale căror legi de mişcare permit prelucrarea matematică, au făcut ca matematicienii să uite materia"[1].

Mecanica cuantică modernă a confirmat profunda valabilitate a acestor idei ale lui Lenin.

Aplicînd ideile cuantice ale lui Planck la modelul planetar al atomului, Bohr a ajuns, în 1913, la afirmarea caracterului discret al stărilor energetice ale atomului, stabilind şi o legătură între frecvenţa luminii emise şi diferenţa energiilor a două stări; totodată, cu tot succesul în rezolvarea problemei atomului de hidrogen, teoria sa — după cum am amintit mai sus — nu a rezolvat multe probleme esenţiale ale mecanicii microfenomenelor. După cum s-a stabilit mai tîrziu, dificultatea principală rezida în problema aşa-numitului dualism al concepţiilor corpusculare şi ondulatorii, pe care Einstein a menţionat-o, încă în 1905, în legătură cu fenomenele de radiaţie. În 1924, de Broglie a emis ipoteza că mişcarea electronului reprezintă o mişcare ondulatorie, iar apoi, dezvoltînd această idee, Schrödinger a găsit un aparat matematic, adică a creat o schemă matematică pentru calculul atomului (mecanica ondulatorie), care a permis să se rezolve problemele ce depăşeau posibilităţile vechii teorii a lui Bohr.

Aproape concomitent cu Schrödinger, Heisenberg a creat un aparat matematic echivalent cu mecanica ondulatorie, sub forma aşa-numitei mecanici matriciale. Mecanica ondulatorie şi mecanica matricială au rezolvat problemele cărora nu le-a putut

[1] V. I. Lenin, *Opere*, vol. 14, E.S.P.L.P., p. 301.



face faţă teoria lui Bohr, însă ele nu aveau un sens fizic clar. Astfel, în mecanica ondulatorie, figurau mărimi al căror conţinut fizic trebuia definit şi, în primul rînd, trebuia stabilit sensul fizic al funcţiei de undă — cea mai importantă dintre aceste mărimi.

Pornind de la ideea comparării luminii şi substanţei, de Broglie a propus să se asocieze unui electron liber în mişcare o undă plană. Cum să se pună însă în concordanţă concepţia ondulatorie a electronului cu concepţia corpusculară, a cărei valabilitate o atestă experienţa ? De Broglie a propus concepţia undei-pilot; Schrödinger a emis ipoteza electronului ca pachet de unde, însă aceste idei ca şi alte idei asemănătoare nu au prins în fizică, deoarece nu corespundeau faptelor.

Fundamentul filozofic al rezultatelor efective ale aparatului matematic din teoria cuantică, creat de Schrödinger, şi nereuşitele încercări iniţiale ale lui de Broglie şi Schrödinger de a rezolva din punct de vedere fizic problema dualismului undă-particulă sînt uşor de înţeles pentru un materialist dialectician. Aparatul matematic al teoriei cuantice reflectă natura dual corpuscular-ondulatorie a microobiectelor în mişcare, însă dialectica undă-particulă, continuu-discret în domeniul microfenomenelor, ca şi întreaga dialectică materialistă era o carte închisă sub şapte lacăte pentru fizicienii care nu cunosc marxismul. Acest lucru s-a vădit, în particular, la de Broglie şi la Schrödinger, atunci cînd au încercat să rezolve problema undă-particulă prin reducerea discretului la continuitate. Este natural că aceasta a dus la un eşec, deoarece încercările de acest fel ignorau dialectica naturii.

Este însă necesar să subliniem următoarele : în perioada creării mecanicii ondulatorii, convingerea spontană a majorităţii fizicienilor în realitatea obiectivă a lumii exterioare s-a manifestat în aceea că, pentru de Broglie şi Schrödinger, proprietăţile ondulatorii ale electronilor erau proprietăţi reale ale electronilor reali, iar nu un simbol, o ficţiune sau ceva asemănător.

Prăbuşirea principiilor şi a noţiunilor fundamentale ale fizicii clasice, determinată de descoperirea proprietăţilor discrete ale radiaţiei, iar apoi a proprietăţilor ondulatorii ale substanţei, a fost folosită de idealismul filozofic pentru un nou atac împotriva concepţiei materialiste despre lume, împotriva materialismului în fizică. Idealismul filozofic a fost sprijinit pe toată linia de fizicienii idealişti, care au înapoiat cu prisos filozofilor idealişti ceea ce primiseră de la ei.

Încă în mecanica sa matricială, Heisenberg porneşte de la premisa că teoria atomului nu trebuie să aibă de-a face cu mărimi inaccesibile observaţiei directe. De aceea, caracteristici mecanice ale mişcărilor electronului, ca poziţia pe orbită sau durata revoluţiei sale, nu figurează în mecanica matricială. În locul lor, apar matrici care reprezintă tabele infinite de mărimi ale radiaţiei, accesibile observaţiei. Heisenberg face observaţia că electronii nu au gradul de realitate directă pe care îl posedă obiectele „experienţei cotidiene", deoarece, după cum argumentează el, locul electronului, spre deosebire de obiectele obişnuite, nu poate fi observat direct. A doua limitare a realităţii obiectelor atomice ar consta în faptul că impulsul lor, energia lor şi alte caracteristici nu sînt nici ele observabile direct, şi deci trebuie să fie înlocuite prin matrici corespunzătoare de mărimi observabile[1].

Heisenberg a răsturnat cu capul în jos problema realităţii electronilor. După Heisenberg, reiese că nu obiectul fizic are proprietatea de a fi o realitate obiectivă, de a exista în afara conştiinţei omului, ci concepţia mecanicii clasice despre obiectul fizic este o realitate, şi, întrucît electronul nu se încadrează în această „realitate", înseamnă că el nu are acelaşi grad de realitate ca şi obiectele experienţei cotidiene, obiectele macroscopice. Comentariile sînt, în acest caz, de prisos.

Şi totuşi, de ce mecanica matricială a lui Heisenberg, cu toate concepţiile idealiste ale autorului ei, s-a dovedit rodnică şi a reprezentat un pas înainte în dezvoltarea teoriei cuantice? Cauza nu stă în faptul că, creînd mecanica matricială, Heisenberg ar fi pornit, după cum credea el, de la „cele direct observabile" şi ar fi izgonit „inobservabilul" din teorie. După cum se ştie, Schrödinger a pornit de pe alte poziţii, atunci cînd a creat mecanica ondulatorie, şi a obţinut un aparat matematic echivalent cu mecanica matricială. Deci nu este vorba de concepţiile filozofice ale lui Heisenberg, atunci cînd ne referim la eficacitatea mecanicii matriciale.

În primul rînd, fiecare element de matrice al coordonatei cuantice (care reprezintă o relaţie între frecvenţa şi intensitatea liniei spectrale, ambele observabile), elementele de matrice ale altor mărimi cuantice, de exemplu ale impulsului cuantic, şi matricile înseşi ( supuse condiţiei $pq - qp = \frac{\hbar}{i}$ ) reflectă, toate,

[1] Vezi W. Heisenberg, *Mecanica cuantică*, UFN, vol. VI, fasc. 6, 1926, pp. 427—28.



natura corpuscular-ondulatorie a microobiectelor în mişcare. Heisenberg înţelege, în mod cu totul greşit, prin locul unui electron coordonata particulei. Tocmai aceasta îl face să afirme că înlocuirea în mecanica matricială a coordonatei electronului prin matricea corespunzătoare ar însemna o pretinsă renunţare la noţiunea de loc al electronului. În realitate, această înlocuire nu înseamnă decît că proprietatea electronului de a se găsi în spaţiu nu se reflectă în mod adecvat într-o noţiune a mecanicii clasice cum este cea de coordonată a particulei, deoarece electronul nu este o particulă în sensul mecanicii clasice. Acelaşi lucru trebuie să-l spunem şi despre impulsul cuantic etc. Mecanica matricială (ca şi mecanica ondulatorie) a exprimat într-o formă matematică proprietăţile corpuscular-ondulatorii inseparabile ale microobiectelor; acest lucru l-a pus în evidenţă dezvoltarea ulterioară a mecanicii cuantice, inclusiv dezvoltarea aparatului ei matematic (căruia Dirac i-a dat forma actuală). Tocmai faptul că mecanica matricială a reflectat proprietăţile reale ale microobiectelor a constituit cauza succeselor ei.

Fizica nu putea fi satisfăcută de concepţiile ondulatorii iniţiale ale lui de Broglie şi Schrödinger, după cum nu putea fi satisfăcută nici de formalismul mecanicii matriciale a lui Heisenberg. Ce este o undă în „spaţiul coordonatelor", care este semnificaţia faptului că, în locul unei coordonate, figurează matricea corespunzătoare, care reprezintă un tablou infinit de mărimi? Astfel de probleme trebuia să le rezolve fizica, dacă dorea să rămînă fizică, iar nu o matematică „fizică".

Această problemă a fost analizată de M. Born, care a propus să se interpreteze undele lui Schrödinger ca unde de probabilitate ale proceselor atomice. Din acest punct de vedere, afirmaţiile mecanicii cuantice, prevederile fenomenelor etc. au, în general, un caracter statistic. Concepţia proprietăţilor ondulatorii reale ale obiectelor atomice a fost izgonită din mecanica ondulatorie; concepţiile corpusculare au fost împinse pe primul plan, iar undele lui Schrödinger au început să definească probabilitatea ca particula să poată fi găsită într-un loc dat al spaţiului şi la un moment dat, ca şi probabilităţile rezultatelor măsurării altor mărimi mecanice corpusculare. S-a dat o interpretare statistică şi mecanicii matriciale.

Dar, pe cînd problema statisticii macrofenomenelor părea clară pentru fizicieni din punctul de vedere al mecanicii clasice, în mecanica cuantică această problemă se cerea abia rezolvată. După cum se ştie, mecanica clasică afirma că sînt posibile dis-

tribuţii oricît de înguste ale tuturor mărimilor studiate, iar mecanica cuantică nu este de acord cu această afirmaţie. Se pune întrebarea : care sînt bazele acestei deosebiri între statistica macroscopică şi cea microscopică, şi oare nu este determinată această deosebire prin faptul că comportarea unui electron individual ar fi guvernată de o probabilitate pură ?

La această din urmă problemă, un răspuns afirmativ a fost dat de către Heisenberg şi Bohr, care, revizuind — după expresia lui Heisenberg — „legea clasică a cauzalităţii" pentru microfenomene, au pus la baza mecanicii cuantice principiul nedeterminării şi principiul complementarităţii.

Din această prezentare schematică a istoricului apariţiei mecanicii cuantice, rezultă că principiul observabilităţii nu are nicidecum valoarea euristică pe care i-o atribuie idealismul „fizic".

Acest principiu a fost introdus în mecanica cuantică, atunci cînd concepţia nou apărută a complementarităţii a ridicat pretenţia de a deveni un fel de îndrumător filozofic al mecanicii cuantice şi a încercat să dea un fundament principiilor ei.

În adevăr, Heisenberg introduce în relaţia de nedeterminare un conţinut corespunzător concepţiei complementarităţii (principiul nedeterminării) şi-l face punct de plecare pentru „eliberarea" mecanicii cuantice de „inobservabil". Relaţia de nedeterminare, în sensul ei real, este inclusă chiar în definiţiile mărimilor cuantice (matrici, operatori) şi, exprimînd proprietăţile acestor mărimi (a impulsului cuantic şi a coordonatei cuantice), nu este legată în nici un fel de problema interacţiei necontrolabile a aparatelor şi a microobiectelor. Emiţînd principiul nedeterminării, Heisenberg pune pe primul plan interacţia principial necontrolabilă a mijlocului de măsurare şi a obiectului măsurat, încercînd prin aceasta să interpreteze mărimile cuantice pe baza noţiunilor clasice[1]. De aici, se obţin „nedeterminările" în impulsul şi în coordonata electronului individual, limitele de aplicabilitate ale tabloului corpuscular, privite ca o „lege a naturii" etc., cu alte cuvinte, tot ce nu este propriu mecanicii cuantice. Principiul observabilităţii îi permite lui Heisenberg să efectueze operaţia de adaptare a noţiunilor mecanicii clasice la fenomenele atomice, să găsească „gradul de alterare a noţiunilor clasice" necesar — după afirmaţia lui Heisenberg — „pentru descrierea necontradictorie a proceselor atomice"[2].

[1] Vezi paragraful 2, cap. II.

[2] W. Heisenberg, *Principiile fizice ale teoriei cuantice*, p. 11.



Iată desfăşurarea raţionamentelor şcolii lui Heisenberg-Bohr. Se pune problema : este oare „viteza într-un punct" a unui electron în mişcare principial observabilă, sau, ceea ce este acelaşi lucru, se poate oare indica o metodă fizic posibilă, care să permită determinarea simultană a vitezei şi a coordonatei unui electron ? Pe baza analizei unor anumite experimente mintale, la această întrebare se dă un răspuns negativ. În conformitate cu acest răspuns, se propune construirea mecanicii fenomenelor atomice în aşa fel, încît în ea să nu figureze noţiunea de „viteză într-un punct". Această noţiune nu poate fi aplicată la mecanica cuantică în mod absolut exact, însă după cum afirmă ei, ea poate şi trebuie aplicată în mod aproximativ, iar gradul acestei aproximaţii corespunde relaţiei de nedeterminare.

Însă în realitate, cum am arătat mai sus, principiul nedeterminării (sau principiul complementarităţii) nu are nici o legătură cu conţinutul real al mecanicii cuantice, cu datele şi cu legile ei. Este oare posibil ca, luînd drept punct de plecare principiul nedeterminării (principiul complementarităţii), să deducem ecuaţia undelor, funcţia de undă şi, în general, noţiunile şi relaţiile mecanicii cuantice? La aceste întrebări, nu există decît un singur răspuns, şi anume : nu. De aci rezultă că nici principiul observabilităţii nu are vreo legătură cu deducerea principiilor mecanicii cuantice; el nu sprijină decît concepţia complementarităţii şi nicidecum mecanica cuantică. Desigur, există o relaţie de nedeterminare pentru coordonată şi viteză în mecanica cuantică. Însă după cum am arătat în cap. II, ea reprezintă opusul exact al principiului nedeterminării.

Bineînţeles, o abstracţie a mecanicii clasice cum este noţiunea de „viteză într-un punct", este inaplicabilă în domeniul microfenomenelor, însă aceasta înseamnă contrariul celor ce afirmă şcoala lui Bohr-Heisenberg. Afirmaţia că noţiunea de „viteză într-un punct" este inaplicabilă în domeniul microfenomenelor este o concluzie din lunga şi dificila evoluţie a teoriei cuantice, iar nu un rezultat al experimentelor mintale ale şcolii de la Copenhaga, de tipul experimentului mintal cu „microscopul lui Heisenberg". Tocmai de aceea, afirmaţia că „viteza într-un punct" nu este observabilă nu a servit nicidecum ca o premisă, pe baza căreia s-ar fi putut pune în evidenţă semnificaţia mecanicii ondulatorii; tocmai de aceea este absolut greşită afirmaţia că mecanica ondulatorie nu putea fi înţeleasă înainte de critica făcută de Heisenberg noţiunii de „viteză într-un punct".

Noţiunile de coordonată cuantică şi de impuls cuantic sînt abstracţii de ordin superior în comparaţie cu noţiunile de coordonată şi de impuls din mecanica clasică; ele oglindesc mai adînc şi mai complet realitatea obiectivă a mişcărilor mecanice şi ele oglindesc, în primul rînd, mişcările atomice, pe care nu putea să le cuprindă mecanica clasică (acest lucru se exprimă matematic prin faptul că, în mecanica cuantică, se utilizează noţiunea de operator linear). Mecanica cuantică permite să se determine limitele de aplicabilitate ale mecanicii corpusculare clasice, printre care şi limita de aplicabilitate a noţiunii de particulă, fapt pe care-l arată relaţia de nedeterminare. Găsind limitele de aplicabilitate ale mecanicii clasice, mecanica cuantică nu a renunţat la noţiunile ei, ci la punctul de vedere că noţiunile mecanicii clasice ar avea un caracter universal.

Totodată, conţinutul real al mecanicii cuantice nu are nimic comun cu afirmaţiile lui Heisenberg şi Bohr în problema aplicabilităţii limitate a noţiunilor corpusculare la mecanica cuantică. Şcoala de la Copenhaga afirmă că mecanica cuantică ar fi stabilit limitele de aplicabilitate ale noţiunilor corpusculare clasice, în sensul că mecanica cuantică poate utiliza, de exemplu, noţiunea clasică de „viteză într-un punct", dar este obligată să o utilizeze într-un mod „aproximativ", cu restricţii cuprinse în limitele relaţiei de nedeterminare. În realitate, mecanica cuantică a găsit limitele de aplicabilitate ale mecanicii corpusculare şi ale noţiunilor ei la domeniul fenomenelor de mişcare şi, de aceea, ecuaţiile mecanicii cuantice nu pot fi interpretate pe baza noţiunilor mecanicii clasice, după cum procedează în fond Heisenberg (reamintim că, după Heisenberg, relaţia de nedeterminare este principiul, „legea" limitării aplicabilităţii noţiunilor clasice, necesară pentru utilizarea necontradictorie a acestor noţiuni în domeniul atomic). Pe scurt, concepţia complementarităţii nu revizuieşte noţiunile mecanicii clasice cu aplicare la fenomenele atomice, deşi susţine că ar efectua o astfel de revizuire, ci le păstrează, astfel încît unele noţiuni sînt menţinute ca „perfect exacte" (de exemplu, noţiunea de viteză sau de coordonată), în timp ce altele, numai ca „aproximative" (de exemplu, noţiunea de „viteză într-un punct" sau noţiunea de particulă), în conformitate cu relaţia de nedeterminare.

Rezumînd, trebuie să spunem că principiul observabilităţii nu a jucat niciodată şi nici nu joacă vreun rol euristic în dezvoltarea teoriei cuantice sau a unei alte teorii fizice, că nu dă nimic pozitiv pentru înţelegerea semnificaţiei fizice reale a



ecuaţiilor mecanicii cuantice. Principiul observabilităţii este legat organic de concepţia complementarităţii, care se sprijină pe el.

Analiza teoriei relativităţii şi a mecanicii cuantice ne permite să cercetăm mai profund aspectul logic al principiului observabilităţii. Pentru aceasta, să examinăm unele consideraţii ale lui V. A. Fok.

În articolul „Legile fundamentale ale fizicii, în lumina materialismului dialectic", V. A. Fok emite părerea că, în stabilirea principiilor fundamentale ale mecanicii cuantice şi în interpretarea ei corectă, a jucat un important rol pozitiv teza : într-o teorie fizică, nu pot fi tolerate decît afirmaţii accesibile verificării experimentale. Mai departe, V. A. Fok explică : „Prin *teorie fizică*, înţelegem o reflectare a realităţii, o reflectare a legităţilor care au loc în natură. Prin *verificare experimentală*, înţelegem verificarea justeţei acestei reflectări, verificarea măsurii în care forma aproximativă a unei legi, admisă într-o teorie dată, corespunde legii reale din natură. În sfîrşit, prin *accesibilitatea* verificării experimentale, înţelegem *accesibilitatea principială*, adică faptul că *verificarea experimentală nu contrazice alte legi cunoscute ale naturii* (în timp ce posibilitatea verificării cu mijloace tehnice existente nu este obligatorie)[1].

Se poate observa uşor că, deşi aceste susţineri nu concordă cu principiul observabilităţii, ele conţin un element al acestuia. Ce dau însă aceste afirmaţii ale lui V. A. Fok?

Pentru aceasta, să analizăm exemple deja cunoscute.

În secolul XIX, verificarea experimentală a afirmaţiei lui Newton despre simultaneitatea absolută nu contrazicea legile naturii cunoscute pe atunci, iar în secolul XX a început să le contrazică. S-ar părea că acest lucru trebuia să ducă la restructurarea fizicii în partea ei corespunzătoare şi că fizica a efectuat această restructurare, eliminînd din conţinutul ei noţiunea de simultaneitate absolută şi dînd astfel naştere teoriei relativităţii. Însă după cum am arătat mai sus, evoluţia fizicii nu s-a produs după această schemă simplă.

Subliniem încă o dată că dezvoltarea fizicii nu este nicidecum determinată de faptul că ea părăseşte diferite noţiuni şi principii care nu rezistă verificării experimentale, sau renunţă la ele şi, în legătură cu aceasta, îşi restructurează conţinutul. Dimpotrivă, pe baza dezvoltării fizicii, pe baza descoperirii unor fapte

[1] V. A. Fok, „Vestnik Leningradskogo universiteta", nr. 4, 1949, p. 44 (sublinierea din ultima frază îmi aparţine. — *M.O.*).

noi şi a generalizării lor teoretice, noţiunile şi principiile ei se schimbă: se precizează şi se adîncesc vechile noţiuni şi principii, apar noţiuni şi principii noi. Această modificare a noţiunilor fizicii este determinată de dezvoltarea fizicii, în cursul căreia se constată că legile exprimate în noţiunile mecanicii clasice, să zicem, se limitează numai la un anumit domeniu de fenomene din natură.

Să luăm exemplul termogenului. Verificarea experimentală a afirmaţiei că termogenul există nu contrazicea legile naturii, cunoscute în secolul XVIII; mai mult, în cadrul teoriei termogenului, a fost strîns un material experimental vast. S-a constatat ulterior că afirmarea termogenului a intrat în contradicţie cu noile date experimentale şi a trebuit să se renunţe la această noţiune. La prima vedere, s-ar părea că, în cazul de faţă, totul are loc în perfectă concordanţă cu afirmaţia lui V. A. Fok. Însă unde este valoarea euristică a acestei afirmaţii ? În realitate, au înmormîntat termogenul faptele noi şi teoria corespunzătoare acestor fapte; totodată, este necesar să reamintim că, încă Lomonosov, pornind de la concepţiile sale atomiste şi de la legea conservării materiei şi a mişcării, a descoperit în mişcarea particulelor de substanţă antipodul real al imaginarului termogen, dînd prin aceasta o lovitură distrugătoare teoriei termogenului.

Mai departe, după afirmaţia lui V. A. Fok, reiese că nu atît experienţa şi teoria, care se dezvoltă pe baza ei, se perfecţionează şi se dezvoltă cît teoria revizuieşte noţiunile cuprinse în ea, renunţînd la acelea dintre ele pe care nu le confirmă experienţa. S-a arătat mai sus că dezvoltarea fizicii şi a teoriilor ei se efectuează într-un alt mod.

În sfîrşit, afirmaţia lui V. A. Fok poate să însemne că verificarea experimentală a tuturor definiţiilor şi afirmaţiilor unei teorii fizice trebuie să se afle în concordanţă cu faptele şi cu legile cunoscute din natură. Dacă este vorba de o teorie care abia se formează, atunci am văzut că o teorie fizică se formează şi se dezvoltă într-un cu totul alt fel, iar dacă este vorba de o teorie gata formată, atunci afirmaţia lui V. A. Fok apare banală.

Să revenim dar la principiul observabilităţii. După cum rezultă din cele spuse mai sus, acest principiu nu se reduce la teze indiferente, ca să zicem aşa, neutre, pentru problemele dezvoltării fizicii. După cum am putut urmări, acest principiu, prin întregul său conţinut, serveşte idealismului. Pentru a scoate mai bine în relief acest lucru, să mai examinăm încă un aspect care, în expunerea noastră anterioară, a rămas în umbră.



Se ştie că lucrurile care există în afara conştiinţei omului şi independent de ea, adică lucrurile obiectiv reale, sînt cognoscibile; în condiţiile corespunzătoare, ele acţionează direct sau indirect asupra organelor de simţ ale omului, şi deci sînt observate, cunoscute. Materialismul dialectic consideră drept una dintre tezele sale fundamentale, afirmaţia că lucrurile care există în univers sînt cognoscibile şi că cunoaşterea lucrurilor nu este ceva dat de-a gata şi imuabil. S-ar putea crede că principiul observabilităţii nu se află în contradicţie cu această teză, deoarece, în conformitate cu acest principiu, fizica ar trebui să aibă de-a face numai cu lucruri observabile sau principial observabile, iar observabilitatea, cognoscibilitatea lucrurilor ne este recomandată de materialism.

În realitate, situaţia se prezintă invers. Conform principiului observabilităţii, nu ceea ce există este principial observabil, ci ceea ce este principial observabil există. Or aceasta înseamnă idealism. Afirmaţia că ceea ce este principial observabil există este piatra de temelie a operaţionalismului, acel curent idealist din fizica modernă, reprezentat deosebit de clar prin şcoala de la Cambridge. În cartea sa „Logica fizicii moderne", această evanghelie a operaţionalismului, Bridgman spune că, „din punct de vedere operaţionalist, este lipsit de sens să încercăm a despărţi natura de cunoaşterea naturii"[1]. Dacă fizica are de-a face numai cu lucrurile observabile sau principial observabile, aceasta lasă, după cum am amintit, o portiţă de scăpare pentru ideea fideistă că ar exista şi lucruri „inobservabile", de care fizica nu are de ce să se ocupe şi, pe de altă parte, aceasta mai înseamnă că fizica nu s-ar ocupa în fond decît de construcţiile teoretice ale fizicienilor şi, adeseori, de născocirile şi de fanteziile lor, că ea nu studiază natura şi legităţile ei.

Toate cele spuse despre principiul observabilităţii ne obligă să tragem concluzia că acest principiu a încurcat într-un mod idealist problema abstracţiilor şi a rolului lor în fizică. Alfa şi omega principiului observabilităţii este că abstracţia ar fi realitatea de care s-ar ocupa fizica. De aici rezultă subiectivismul selectiv al lui Eddington, de aici rezultă scornelile şcolii de la Copenhaga şi ale altor şcoli idealiste din fizica de peste hotare. De aici rezultă şi legătura organică a principiului observabilităţii

[1] P. W. Bridgman *The Logic of Modern Physics*, New York, 1951, p. 62.

cu concepţia complementarităţii şi cu interpretările subiectiviste ale legilor teoriei relativităţii.

În încheiere, să mai revenim o dată la afirmaţia lui Dirac: „Ştiinţa are de-a face numai cu lucruri observabile".

Este oare adevărat că, în ştiinţă, nu trebuie să figureze decît noţiuni bazate pe experienţă? Ca un anumit ideal, această condiţie pare a fi justificată pentru o teorie gata formată şi, în acest sens, desăvîrşită; însă atunci ea este banală şi practic inutilă, deoarece teoria şi experimentul se dezvoltă şi se perfecţionează neîncetat. În teorie figurează noţiuni care se bazează pe experienţă; în acelaşi timp, în fizică pot figura — şi figurează — şi noţiuni ipotetice (noţiunea de termogen, de exemplu, dacă este vorba de noţiunile trecute la arhivă de dezvoltarea fizicii sau de noţiunile atomiste care s-au perfecţionat şi s-au precizat o dată cu dezvoltarea fizicii, începînd în cele din urmă să mai fie ipoteze).

Ipotezele în ştiinţă sînt necesare pentru progresul ei şi apariţia noţiunilor ipotetice este inevitabilă. Trebuie să operăm cu ele atunci cînd se descoperă fapte noi şi deci atunci cînd, din teoria veche, ia naştere o teorie nouă, cînd nu s-au cristalizat încă tezele fundamentale ale acestei teorii noi. Se înţelege că, atunci cînd teoria fizică nouă se dezvoltă şi construcţia ei se desăvîrşeşte, în fizică se înlătură noţiunile ipotetice introduse la timpul cînd erau oportune.

Dacă fizicienii nu pot renunţa şi nu renunţă explicit sau implicit la ipoteze, în schimb, nu orice fizician introduce ipoteticul în teorie. Se ştie că Newton s-a ţinut în mod neclintit de regula de a nu amesteca presupunerile cu lucrurile certe, ipotezele cu situaţia stabilită de experienţă; şi „Principiile" sale, de exemplu, nu conţin ipoteze. O dată cu aceasta, Newton, ca orice om de ştiinţă adevărat, a folosit ipotezele la studiul fenomenelor din natură.

Este oare necesar să introducem în structura unei teorii o parte ipotetică? Fără îndoială, procedînd în conformitate cu regula sa, Newton a asigurat fizicii clasice o tărie de neclintit. Principiile fundamentale ale mecanicii clasice sînt, de exemplu, tot atît de tari ca şi experienţa pe care o generalizează. Noua experienţă, care a dat naştere fizicii neclasice, nu a făcut decît să distrugă universalismul metafizic al mecanicii clasice, limitînd aplicarea ei la un anumit domeniu de fenomene. Se ştie, pe de altă parte, că teoria cinetică a gazelor sau teoria atomistă au adus o mare contribuţie în fizică şi că, fără ele, fizica nu ar fi ceea ce ea este astăzi. De asemenea, se ştie că, în ştiinţă, au



existat teorii care foloseau simultan şi ipoteze şi afirmaţii experimentale (de exemplu, teoria atomului lui Bohr).

Aşadar, din diferite motive, în teorie pot fi introduse noţiuni ipotetice, însă prezenţa acestor noţiuni în fiecare caz trebuie să fie menţionată special. Reamintim, de asemenea, că renunţarea principială la folosirea ipotezelor (Mach, Duhem, Ostwald) duce la canonizarea experienţei actuale şi a teoriilor existente, înseamnă tendinţa de a izgoni din fizică toate teoriile care îşi propun să dezvăluie, sub aparenţa fenomenelor, esenţa lor şi legile mai adînci care guvernează aceste fenomene.

Aşadar, dacă înţelegem afirmaţia: în ştiinţă nu trebuie să figureze decît noţiunile fundamentate experimental, ca o exigenţă ca ştiinţa să renunţe la folosirea ipotezelor, atunci nu putem fi de acord la o astfel de exigenţă. Ştiinţa nu poate renunţa şi nu renunţă niciodată la ipoteze. Însă tendinţa dezvoltării ei este de aşa natură încît, cu fiecare pas înainte al ştiinţei, ipotezele se înlătură din conţinutul ei, pentru a apărea din nou, într-o nouă etapă a dezvoltării.

*CAPITOLUL IV*

# APARATUL ŞI MECANICA CUANTICĂ

## 1. Aparatul şi rolul lui în cunoaşterea fenomenelor fizice

Pentru a măsura o anumită mărime fizică, adică pentru a aprecia cantitativ o proprietate (în sensul cel mai general) a unui obiect, ne situăm într-un anumit raport faţă de acest obiect, efectuînd unele operaţii practice, iar apoi anumite calcule.

Aceste operaţii practice sînt observaţii şi experimente. Observaţia şi experimentul stau la baza întregii cunoaşteri fizice. Ele se deosebesc una de cealaltă prin aceea că, într-un experiment, cercetătorul modifică, reglează şi controlează condiţiile în care se desfăşoară un fenomen fizic, în timp ce, într-o observaţie, cercetătorul se află într-un raport relativ pasiv faţă de condiţiile în care se desfăşoară fenomenul. Pentru a pune în evidenţă legea unor fenomene, fizicianul observă procesele din natură, acolo unde ele sînt alterate cît mai puţin de influenţe perturbatoare, sau încearcă să efectueze un experiment, în condiţii care să asigure desfăşurarea procesului într-o formă pură.

Una din trăsăturile caracteristice ale fizicii ca ştiinţă este importanţa deosebită pe care o prezintă pentru ea observaţiile şi experimentele, care înseamnă concomitent şi determinarea aspectului cantitativ al fenomenelor studiate (găsirea valorilor numerice ale unei mărimi fizice, stabilirea unei relaţii funcţionale între mărimi fizice, exprimată sub formă de ecuaţie matematică etc). De aceea, pentru fizică, observaţia şi experimentul sînt legate, de cele mai multe ori, de determinarea valorilor numerice ale mărimilor fizice. Pe de altă parte, măsurarea se realizează prin observaţie şi experiment, iar experimentul pus la baza măsurării are, de obicei, un caracter indirect, complicat.



Fenomenele şi corpurile fizice, cu toate proprietăţile lor, cu toate conexiunile şi relaţiile lor, în mişcarea, variaţia şi evoluţia lor, există independent de om şi de aparatele sale de observaţie şi de măsură. Acest fapt este principala premisă a cunoaşterii fizice şi fiecare fizician care contribuie la propăşirea ştiinţei în mod conştient (dacă este materialist), sau inconştient (un fizician idealist o face în pofida concepţiilor sale filozofice), se sprijină pe această premisă. Corpurile şi procesele fizice se reflectă în diferite moduri în conştiinţa omului, şi această reflectare este procesul creării, al formării noţiunilor, teoriilor etc. Reflectînd relativ corect materia mereu în dezvoltare, aceste noţiuni, ecuaţii fizice, teorii etc. se schimbă, o dată cu dezvoltarea ştiinţei şi a practicii, reflectă materia din ce în ce mai precis şi mai complet, dar fără să epuizeze în întregime cunoaşterea ei. Să arătăm acest lucru cu ajutorul unui exemplu simplu.

Să presupunem că măsurăm greutatea corpurilor. Senzaţia musculară directă dă o apreciere foarte neprecisă a greutăţii. Greutatea minimă care ne mai provoacă senzaţia de presiune (aşa-numitul prag de excitaţie, în exemplul nostru, relativ la senzaţia de presiune) este cuprins, pentru diferitele puncte ale corpului nostru, aproximativ între 1 gram şi un miligram, adică sub această limită noi nu percepem presiunea. Cu alte cuvinte, dacă omul s-ar mărgini la „simţul greutăţii", pe care îl are de la natură, el nu ar fi descoperit niciodată, să zicem, că un fir de praf de 1/16 mm diametru are o anumită greutate, nu ar fi ştiut nimic despre prezenţa unei pelicule de apă pe suprafaţa sticlei într-un aer de o umiditate moderată, fără să mai amintim că greutatea unei molecule sau a unui atom ar fi rămas pentru totdeauna necunoscută. Dar ştiinţa a depăşit acest caracter limitat al senzaţiei musculare; s-au construit balanţe care sînt sensibile la o a zecea mia parte dintr-un miligram, s-au construit balanţe speciale pentru studiul corpurilor radioactive, care indică o treime de milionime de miligram; cu ajutorul unor instalaţii experimentale, bazîndu-ne pe anumite legi, putem „cîntări" moleculele şi atomii.

Dar simţurile omului nu sînt limitate numai în sensul că există un prag de excitaţie. Există şi un aşa-numit prag superior al excitaţiei şi un aşa-numit prag de comparaţie în raport cu o senzaţie determinată. Omul a depăşit şi această limitare a simţurilor sale. Nu vom reproduce faptele corespunzătoare, ci vom aminti numai următoarele. Dacă cunoaşterea greutăţii unui corp s-ar limita numai la ceea ce indică senzaţia musculară de

presiune, omul nu ar putea, de exemplu, să cîntărească planeta noastră, deoarece l-ar împiedica de la acest lucru nu numai limita superioară de excitaţie, ci şi întreaga sa natură biologică. Însă într-un anumit sens special, omul a „cîntărit" globul terestru. El a fost ajutat aici de un aparat remarcabil, care este balanţa de torsiune.

Aşadar, măsurînd greutatea corpurilor fizice, omul nu se limitează numai la informaţiile pe care le capătă despre greutate pe baza datelor furnizate de organele de simţ, ci foloseşte tot felul de proprietăţi ale corpurilor, în legăturile şi în legile lor, pentru a cunoaşte mai adînc proprietatea care îl interesează şi pentru a o măsura mai precis. Utilizînd balanţa şi alte aparate, omul capătă date noi despre greutate, care îi permit să depăşească cunoaşterea iniţială incompletă a greutăţii şi să facă această cunoaştere mai completă şi mai precisă. O dată cu aceasta, se modifică şi însăşi concepţia despre greutate; ea devine din ce în ce mai plină de conţinut, reflectînd mai corect şi mai precis proprietăţile corespunzătoare ale lumii materiale.

Toate cele spuse despre măsurarea greutăţii sînt aplicabile în întregime şi măsurării oricărei mărimi fizice. Limitarea cunoaşterii corpurilor şi a fenomenelor, pe care ne-o furnizează simţurile noastre, nu are un caracter absolut, ci este relativă. Ea este depăşită în procesul dezvoltării observaţiilor, a experimentelor şi teoriei bazate pe ele, în procesul dezvoltării practicii omeneşti şi a ştiinţei în general. Rolul hotărîtor în întreg procesul de măsurare precisă revine aparatelor, după cum reiese şi din exemplul nostru. Însă se înţelege că, pentru a lămuri rolul pe care-l joacă aparatele în cunoaşterea fenomenelor fizice (în care măsurarea figurează ca un element esenţial), nu numai pe baza unui exemplu, trebuie să studiem această problemă în mod special. La aceasta trecem acum.

Ce este un aparat de măsură ?

La măsurare, obiectul studiat este comparat, de obicei, cu un obiect care serveşte drept unitate de măsură, însă nu în mod direct, ci prin intermediul unui corp fizic; de exemplu, compararea masei unei cantităţi de aur cu masa greutăţilor impune folosirea balanţei. Acest lucru este valabil şi pentru măsurarea directă şi pentru cea indirectă. De aici rezultă următoarea definiţie a aparatului de măsură: se numeşte aparat de măsură un sistem material care serveşte la compararea directă sau indirectă a mărimii măsurate cu unitatea ei. Deşi această definiţie este utilă pentru clarificarea problemelor legate de măsurare, ea împărtăşeşte soarta oricărei definiţii, fiind în mod inevitabil limitată. Pentru a depăşi această limitare şi pentru a pune în evidenţă rolul aparatului de măsură în cunoaşterea fizică a fenomenelor naturii, trebuie să cercetăm modificarea şi evoluţia aparatelor de măsură, să punem în evidenţă treptele acestei dezvoltări şi legătura dintre ele. Vom încerca să facem acest lucru în exemplul dezvoltării aparatelor care servesc la măsurarea greutăţii, a forţei, a masei. Iată o prezentare cît se poate de schematică a acestei dezvoltări.



Construcţia balanţei — principalul aparat pentru măsurarea greutăţii, masei, forţei — se bazează pe legea pîrghiei, a cărei primă formulare ştiinţifică a fost dată de Arhimede. Balanţa obişnuită, cu pîrghie, se utilizează nu numai la măsurarea aşanumitei greutăţi absolute a solidelor, a lichidelor şi a gazelor, dar poate fi folosită şi la determinarea densităţii (ponderităţii) corpurilor solide şi lichide.

Măsurarea greutăţii cu ajutorul balanţei presupune constatarea poziţiei de echilibru a braţelor balanţei, pusă în evidenţă cu ajutorul ochiului. Putem inversa acest procedeu de măsură şi face ca abaterea braţelor de la poziţia de echilibru să devină măsură a greutăţii. Ultimul procedeu se utilizează la măsurarea greutăţii, a forţei şi a maselor cu ajutorul cîntarului cu arc şi al dinamometrului; din aceeaşi categorie fac parte măsurătorile mărimilor corespunzătoare cu ajutorul areometrului, al manometrului, al barometrului, al diferitelor microbalanţe.

Aparatele care măsoară greutatea, forţele şi masele au căpătat o nouă dezvoltare, o dată cu inventarea balanţei de torsiune. Aceasta serveşte la măsurarea forţelor de atracţie sau de respingere dintre corpuri (gravitaţia universală, atracţia şi respingerea dintre corpuri electrizate etc.). Partea principală a balanţei de torsiune este un fir elastic (metalic, de sticlă sau de cuarţ), de care este fixată o pîrghie cu braţe egale. Răsucirea firului elastic este folosită la măsurarea forţei care acţionează asupra unui braţ al pîrghiei. Pe principiul balanţei de torsiune se bazează construcţia multor aparate de măsură electrice şi magnetice, în care este folosit un magnet rotitor pentru măsurarea acţiunilor electrice şi magnetice. Balanţa de torsiune a intrat drept element component în aparatul cu ajutorul căruia P. N. Lebedev a efectuat celebra sa cercetare a presiunii luminii asupra gazelor, un fenomen caracterizat printr-o mărime infimă.

Ca şi ştiinţa în ansamblu, mijloacele experimentale şi aparatele de măsură îşi datoresc apariţia şi dezvoltarea, în primul

rînd, producției. În antichitate, în condițiile orînduirii sclavagiste, societatea nu avea aproape de loc necesitatea inventării unor noi mijloace tehnice și experimentale; caracterul relativ nedezvoltat al forțelor de producție din societățile antice și corespunzătoarea lipsă de interes a sclavului față de munca sa nu favorizau progresul gîndirii tehnice și științifice.

Evul Mediu creștin a schimbat puțin această situație, și numai începînd cu cruciadele, așa cum observă Engels, „industria s-a dezvoltat colosal... și a scos la iveală o mulțime de noi realizări mecanice (țesătoria, ceasornicăria, morăritul), chimice (vopsitoria, metalurgia, alcoolul) și fizice (lentilele), care au furnizat nu numai un material imens pentru observație, dar și cu totul alte mijloace de experimentare decît cele de pînă atunci și au permis construirea de *noi* instrumente"[1]. În perioada capitalistă și, în primul rînd, în perioada mașinistă a dezvoltării capitalismului și în epoca ulterioară a victoriei socialismului și a construirii societății comuniste, producția și tehnica se ridică, în dezvoltarea lor, pe trepte superioare, determinînd apariția și perfecționarea unei mari mase de mijloace și aparate experimentale noi, necunoscute în epocile precedente.

Schița noastră schematică a dezvoltării aparatelor care măsoară forțele și masele arată rolul aparatelor fizice în cunoașterea corpurilor și a fenomenelor.

Aparatele fizice permit să înlocuim cercetarea directă a proprietăților greu accesibile sau chiar inaccesibile capacității de percepere a unui organ neînarmat prin cercetarea directă a unor proprietăți mai ușor accesibile perceperii de către organele de simț, legate într-un anumit fel de proprietățile mai greu accesibile perceperii, pentru a le cunoaște pe acestea din urmă. Dacă un organ de simț poate fi numit un organ de cunoaștere natural, propriu omului de la natură, atunci orice mijloc experimental sau aparat fizic este un organ de cunoaștere artificial, creat de om; el este un produs al dezvoltării sociale a omului. Aparatul fizic și, în particular, aparatul de măsură este un corp material (sau un sistem de corpuri materiale), pe care omul îl interpune între el și corpurile studiate, pentru a le cunoaste mai complet pe acestea din urmă. În cazul de față, omul folosește proprietățile mecanice, fizice, chimice ale corpurilor care servesc drept aparat, pentru ca să-și realizeze scopul, pornind de la interacția acestor corpuri cu corpurile cercetate. În acest mod,

[1] F. Engels, *Dialectica naturii*, E.S.P.L.P., p. 185.



un corp material sau un sistem de astfel de corpuri devine ceva ce omul asociază organelor sale de simț, lărgind prin aceasta cîmpul cunoașterii sale a lumii materiale și — dacă ne putem exprima astfel — apropiind de organele de simț domenii de fenomene fizice care par a fi cele mai depărtate de percepere.

Pentru a înțelege corect ce este aparatul, este important să subliniem următorul fapt. Noțiunea de „aparat" nu este identică cu noțiunea de „corp fizic" sau de „sistem de corpuri fizice". Corpul fizic (sau sistemul de corpuri) nu este prin el însuși un aparat; el devine aparat numai atunci cînd, asociindu-l organelor sale de simț, omul îl transformă într-un fel de prelungire a acestor organe, care servește la cunoașterea fenomenelor fizice. În afară de aceasta, nu este obligatoriu ca corpul fizic (sau sistemul de corpuri) care este asociat organelor de simț să fie conceput ca ceva făcut de mîinile omului (aparat de laborator); în condiții determinate și pentru scopuri de cunoaștere determinate, omul poate utiliza orice corpuri fizice: atomi, molecule, corpurile solide, lichide și gazoase obișnuite, chiar și corpuri de dimensiuni cosmice. În ultimul caz, esențial este iarăși faptul că omul poate „asocia" organelor sale de simț un anumit corp fizic, poate „transforma" un corp fizic într-un aparat, numai pe baza cunoașterii unor anumite legi, adică atunci cînd practica socială și știința au ajuns la un nivel de dezvoltare corespunzător. Acesta este sensul în care se spune că aparatul este un organ de cunoaștere, creat de om.

Subliniem că „asocierea" unui corp fizic la organele de simț ale omului nu este un contact fizic direct între corpul fizic care poate servi drept aparat și om, în timpul procesului de măsurare. Studiind fenomenele, omul fixează variația parametrilor care caracterizează un fenomen într-un mod direct sau indirect, de exemplu prin intermediul unei plăci fotografice (observațiile astronomice moderne); există și aparate care funcționează automat. Însă orice aparat este un instrument de cunoaștere și aceasta face ca un corp fizic să devină aparat. Aparatele automate îl scutesc pe om de observarea directă a fenomenului (observarea variației parametrilor, compararea valorii lor cu unitățile corespunzătoare etc.), însă nu îl scutesc de obligația de a gîndi, adică de necesitatea de a deduce din datele furnizate de aparat, pe baza cunoașterii unor anumite legi, o anumită concluzie despre fenomenul studiat (despre mărimile care-l caracterizează). Așadar „asocierea" unui corp fizic, care poate fi un aparat, la organele de simț ale omului înseamnă crea-

rea unei legături între aparat şi om, care să reprezinte o premisă pentru deducerea unor aprecieri asupra obiectelor cercetate. Cum este realizată această legătură, este o problemă pe care o vom studia în ultimul paragraf.

Există fenomene şi corpuri fizice care nu sînt percepute direct de om, chiar dacă capacitatea lui de a le simţi este întărită cu ajutorul unor dispozitive speciale (în cazul văzului, un astfel de dispozitiv este, de exemplu, microscopul): razele ultraviolete sînt invizibile pentru ochi, procesele magnetice nu sînt accesibile direct pentru nici un organ de simţ al omului etc., însă după cum se ştie, aceste fenomene şi altele asemănătoare sînt cunoscute de fizică. Cauza rezidă în aceea că toate fenomenele din natură se află în conexiune, iar unele forme de mişcare se pot transforma şi se transformă — dacă sînt realizate condiţiile corespunzătoare — în alte forme de mişcare şi, de aceea, în natură nu există nici un fenomen care să nu poată acţiona dacă nu direct, atunci cel puţin indirect, printr-un şir de verigi intermediare, asupra organelor de simţ ale omului, devenind, în felul acesta accesibil cunoaşterii. Utilizînd legile naturii, omul a creat aparate care pot da informaţii indirecte asupra unor proprietăţi care nu sînt percepute direct de om în forme accesibile organelor noastre. În felul acesta, fenomenele şi obiectele din natură care nu sînt percepute direct de om pot fi cunoscute şi, în particular, pot fi măsurate. Astfel, aparatele utilizate în televiziune, radar etc. devin un fel de ochi faţă cu undele electromagnetice în gama undelor cuprinse între cele milimetrice şi cele metrice; camera Wilson permite studiul unor procese nucleare inaccesibile perceperii directe, după urmele observate ale unor particule încărcate.

La acest tip de aparate, putem raporta şi dispozitivele care măsoară fenomene percepute direct de un anumit simţ omenesc, însă le măsoară pe cale indirectă, cu ajutorul unor fenomene percepute de un alt organ de simţ. De exemplu, un om simte căldura cu pielea corpului său, însă el măsoară căldura folosind văzul şi anume, observînd dilatarea mercurului în tubul unui termometru. Sau, balanţa înlocuieşte, în acest sens, senzaţia de presiune, obţinută de om de la un corp greu, prin perceperea vizuală a unei anumite poziţii a barei pe care sînt suspendate talerele cu corpuri grele etc.

Aparatele se pot împărţi în următoarele grupuri:

1. Aparatele care permit să obţinem date precise despre obiectele şi fenomenele percepute de anumite organe de simţ,



în limitele proprii acestor organe. De exemplu, rigla gradată, ceasornicul cu un dispozitiv care indică timpul prin semnale sonore aparţin acestei categorii de aparate.

2. Aparatele care, extinzînd domeniul de percepţie al unui anumit organ de simţ, furnizează, în aceste limite lărgite, date precise asupra obiectelor şi fenomenelor percepute. Dintre aceste aparate fac parte, de exemplu, micrometrul ocular, comparatorul; în general, dacă este vorba de un organ de simţ cum este ochiul, toate aparatele care au drept parte componentă un microscop sau un dispozitiv telescopic permit măsurarea corpurilor şi a fenomenelor percepute de ochiul înarmat cu aceste dispozitive.

3. Aparatele cu ajutorul cărora se studiază corpuri şi fenomene care nu sînt percepute de nici un organ de simţ (sau sînt percepute de un anumit organ), pe o cale indirectă, care presupune perceperea printr-un organ de simţ determinat (sau perceperea printr-un alt organ) a altor corpuri sau fenomene, legate într-un mod bine determinat de primele. Exemple de acest fel de aparate au fost indicate mai sus.

Bineînţeles, cele trei grupuri de aparate nu sînt despărţite unele de altele prin limite bine determinate, însă vom lăsa problema relaţiilor între aceste grupuri pentru paragrafele următoare.

Aşadar, aparatul este un corp fizic (sau un sistem de corpuri fizice) care pune în legătură pe omul care realizează cunoaşterea cu fenomenele fizice cercetate. În afara acestei legături, aparatul nu este un aparat real, ci numai un aparat potenţial, un aparat doar cu numele. Numai în condiţiile corespunzătoare, realizate prin asocierea corpului fizic care poate servi drept aparat la organele de simţ ale omului, acest corp fizic devine aparat şi-şi îndeplineşte funcţiile de aparat. Aparatul nu este corpul fizic care se cercetează, ci un corp fizic prin intermediul căruia se cercetează alte corpuri şi fenomene fizice, acestea din urmă putînd fi inaccesibile, într-un fel sau altul, perceperii directe.

## 2. Idealismul „fizic" despre aparat şi măsurare în mecanica cuantică

Idealismul fizic atribuie aparatului în mecanica cuantică un rol specific în cunoaşterea microfenomenelor, rol despre care pretinde că s-ar deosebi principial de rolul aparatului în fizica clasică. Din acest punct de vedere (care denaturează situaţia

reală), aparatul capătă o importanţă specială, care trebuie, după cum cer idealiştii, luată în considerare la rezolvarea problemelor referitoare la realitatea microfenomenelor şi a cauzalităţii în mecanica cuantică. În conformitate cu concepţia complementarităţii, fizicianul trebuie să distingă măsurarea unei particule macroscopice de măsurarea unui electron, în sensul că, în primul caz, realitatea pentru fizicianul care experimentează ar fi principial diferită decît în al doilea. În fizica clasică, afirmă Heisenberg, „ordonarea experimentelor presupune la baza lor procese obiective, care se desfăşoară în spaţiu şi în timp". În fizica atomică însă, „nu putem nicidecum să neglijăm modificările pe care le introducem în obiectul observat. Prin alegerea unui anumit mod de observaţie, noi decidem care proprietăţi ale naturii se determină şi care se şterg în procesul observaţiei noastre. Această particularitate deosebeşte particulele microscopice ale materiei de domeniul noţiunilor noastre intuitive"[1].

De aceea, Bohr a şi caracterizat concepţia complementarităţii ca „o revizuire radicală a concepţiilor noastre asupra realităţii fizice"[2].

Ce înseamnă, practic, toate aceste afirmaţii ale lui Bohr şi Heisenberg despre realitatea fizică, putem vedea din cele ce scrie despre concepţia complementarităţii P. Jordan. Acest fizician idealist, care consideră „stabilirea complementarităţii" ca fiind „evenimentul cel mai important din punct de vedere filozofic care s-a cristalizat din mecanica cuantică", a proclamat drept „adevărată realitate fizică" comunitatea rezultatelor observaţiilor, iar obiectivitatea, drept o noţiune derivată din „realitatea fizică" în sensul de mai sus.

Se înţelege că mecanica cuantică (ca şi orice altă teorie ştiinţifică) nu a efectuat şi nu a putut să efectueze nici o revizuire a „concepţiilor noastre asupra realităţii fizice", în sensul pe care îl afirmă şcoala de la Copenhaga. V. I. Lenin a arătat că noţiunea de materie — categorie filozofică pentru desemnarea realităţii obiective — nu poate să se „învechească", nu poate fi infirmată prin nici o descoperire nouă din ştiinţele naturii, că însăşi punerea unei astfel de probleme este în contradicţie cu ştiinţa, absurdă. Descoperirea proprietăţilor discrete ale radiaţiei şi a proprietăţilor ondulatorii ale substanţei a impus revizuirea vechilor concepţii fizice şi înlocuirea lor prin altele noi, corespunzătoare acestor descoperiri (şi nu revizuirea premisei fundamentale a cunoaşterii omeneşti: recunoaşterea realităţii obiective a fenomenelor din natură). Mecanica cuantică a introdus, în adevăr, o astfel de revizuire.

[1] W. Heisenberg, *Problemele filozofice ale fizicii atomice*, pp. 38, 68.

[2] N. Bohr şi alţii, UFN, vol. XVI, fasc. 4, 1936, p. 457.



Concepţia complementarităţii îşi deduce „revizuirea noţiunii de realitate fizică" din pretinsul rol nou pe care l-a atribuit aparatului în mecanica cuantică. Nu trebuie să ne mire că fizicienii care plătesc un tribut concepţiei complementarităţii, cu interpretarea pe care aceasta o dă rolului aparatului în mecanica cuantică, acceptă — într-o formă sau alta — ideea falsă a „realităţii fizice", propusă de Bohr. Într-o anumită perioadă, în literatura sovietică, puteau fi întîlnite afirmaţii în care era susţinută, într-un fel sau altul, ideea „realităţii fizice". Astfel, M. A. Markov a încercat să facă distincţie între „realitatea obiectivă" şi „realitatea fizică a teoriei cuantice", definind pe cea din urmă ca „forma macroscopică de manifestare a realităţii microcosmului", ca „forma macroscopică de reflectare a microcosmului"[1]. După discuţiile asupra problemelor filozofice ale mecanicii cuantice, termenul de „realitate fizică" în sensul şcolii de la Copenhaga nu se mai întîlneşte în literatura sovietică.

În aceeaşi ordine de idei, să-l mai citäm şi pe L. Rosenfeld, un elev al lui Bohr, care scrie următoarele, în articolul „Controverse despre complementaritate", încercînd să motiveze ideea complementarităţii din punctul de vedere al materialismului dialectic: „Noi . . . identificăm caracterul obiectiv al unei teorii fizice cu invarianţa ei în raport cu o clasă corespunzătoare de transformări". Iar mai departe: „Între obiectivitatea relaţiei de complementaritate şi obiectivitatea legilor fizicii clasice există o deosebire calitativă, care apare datorită caracterului dialectic al trecerii de la una la alta"[2]. O astfel de interpretare a obiectivităţii este pe placul idealiştilor, împotriva cărora se ridică — mai exact, încearcă să se ridice — Rosenfeld. Identificarea noţiunii filozofice fundamentale de „obiectivitate" sau, mai exact, de „realitate obiectivă" cu noţiunea matematică de „invarianţă" utilizată în fizică este greşită, deoarece ea înseamnă confundarea nepermisă a problemei fundamentale a filozofiei cu problema proprietăţilor obiectelor de care se ocupă ştiinţele fizico-matematice.

[1] M. A. Markov, „Voprosî filosofii" nr. 2, 1947, pp. 164—165.

[2] L. Rosenfeld, *Strife about Complementarity*, „Science Progress", vol. XLI, 1953, nr. 163, pp. 406—407.

Care este deci rolul aparatului în mecanica cuantică? Mecanica cuantică nu dă nici un fel de motive pentru afirmaţiile idealiştilor „fizicii" despre un pretins rol „gnoseologic" nou al aparatului, în comparaţie cu fizica clasică. Dimpotrivă, scornelile fizicienilor idealişti despre un rol „special" al aparatului în mecanica cuantică au denaturat în chip idealist conţinutul ei principial.

După cum se ştie, ideea complementarităţii „descrierii" spaţio-temporale şi cauzale a naturii este legată intrinsec de ideea inseparabilităţii fenomenului observat de mijloacele de observaţie. Astfel, Heisenberg susţine că, în domeniul atomic, nu putem efectua o separare strictă între obiectul cercetat şi aparat (mijloacele de cercetare) şi, de aceea, rămîne întotdeauna arbitrar care obiecte trebuie raportate la obiectele de cercetare şi care trebuie privite drept aparate[1]. Bohr a subliniat de mai multe ori, dacă ar fi să ne exprimăm cu cuvintele sale, „realitatea superioară" a aparatului de măsură, în raport cu care apare „mai puţin real" obiectul atomic. Cu aceste idei idealiste, se află în rezonanţă definiţia noţiunii „fenomen", asupra căreia insistă Bohr, în articolul „Despre noţiunile de cauzalitate şi de complementaritate". După părerea sa, cuvîntul „fenomen" trebuie *„raportat exclusiv* la observaţii obţinute în condiţii perfect determinate, cuprinzînd indicaţii despre întregul experiment"[2]. Bohr tratează, aşadar, fenomenul ca ceva legat în mod organic de observaţii, iar nu ca ceva primar şi independent de ele.

În perfectă concordanţă cu aceste puncte de vedere idealiste, emiţînd principiul complementarităţii, şcoala de la Copenhaga reduce, de fapt, cunoaşterea legilor microfenomenelor la descrierea indicaţiilor unor aparate, la care se aplică noţiunile fizicii clasice. Sînt caracteristice, în această privinţă, experimentele mintale ale şcolii de la Copenhaga, din analiza cărora se obţine principiul nedeterminării (vezi cap. II).

Iată încă unul dintre aceste experimente mintale ale lui Heisenberg. În acest experiment, cu ajutorul unei plăci fotografice, se determină poziţia unui electron prin intermediul unor ioni şi deci coordonata electronului incident pe placă are nedeterminarea $\Delta x \sim a$, unde $a$ este mărimea atomului ionizat. În acelaşi timp, se produce ciocnirea cu un electron al atomului, care are o nedeterminare $\Delta p \sim \frac{h}{a}$ a impulsului şi deci aceeaşi nedeterminare $\Delta p_x$ a impulsului o va avea şi electronul, a cărui coordonată se determină. De aici se obţine $\Delta x \, \Delta p_x \sim h$.

[1] Vezi W. Heisenberg, *Principiile fizice ale teoriei cuantice*, p. 52 şi urm.

[2] N. Bohr, „Dialectica", 1948, 7/8, p. 317.



Experimentele mintale ale şcolii de la Copenhaga permit să clarificăm interpretarea pe care o dă ea noţiunii de măsurare şi rolului aparatului în mecanica cuantică. În condiţiile realizate într-un dispozitiv experimental, se observă că electronul se comportă analog unei particule, iar în condiţiile realizate într-un alt dispozitiv experimental, se observă că electronul se comportă analog unei formaţii ondulatorii. Aplicarea simultană a noţiunilor ondulatorii şi corpusculare clasice duce la contradicţii, însă pe de altă parte, după opinia şcolii de la Copenhaga, nu există nici un fel de alte noţiuni, în afara celor din fizica clasică, prin intermediul cărora să „ordonăm" cele observate. De aici rezultă condiţia de a limita aplicarea să zicem a imaginii corpusculare. Această condiţie se realizează, reprezentîndu-ne obiectul atomic legat în mod necesar de un aparat care este ori de tip „spaţial", ori de tip „impuls". Din acest punct de vedere, evident greşit, al lui Heisenberg şi Bohr asupra mecanicii cuantice, măsurarea în mecanica cuantică este considerată ca o interacţie a unui microobiect cu un obiect „clasic", şi anume, ca o interacţie care modifică cu atît mai mult starea microobiectului, cu cît măsurătoarea respectivă este mai precisă. Cu alte cuvinte, această „interacţie" este o „interacţie necontrolabilă".

Să revenim la relaţia de nedeterminare şi la principiul nedeterminării şi să le analizăm în planul problemei măsurării.

Relaţia de nedeterminare oglindeşte microfenomene cu realitate obiectivă; din această cauză, orice experiment cuantic o confirmă. D. I. Blohinţev a analizat această problemă şi a arătat că experimentul fizic modern este suficient de fin pentru a verifica valabilitatea relaţiei de nedeterminare[1]. Relaţia de nedeterminare se bazează, aşadar, pe experimentul fizic, adică pe măsurarea unor anumite mărimi fizice.

Principiul nedeterminării nu este confirmat de experienţă, neavînd nimic comun cu relaţia de nedeterminare. Atunci cînd se deduce principiul nedeterminării, nu se efectuează în realitate un experiment, de exemplu, de felul celui cu trecerea electronilor printr-un cristal, ci un experiment mintal cu o microparticulă, în care, după cum am stabilit (vezi paragraful 2, cap. II), este

[1] Vezi D. I. Blohinţev, *Bazele mecanicii cuantice*, p. 503.

realizată confruntarea noţiunilor corpusculare şi ondulatorii. Această „confruntare" reprezintă, în fond, ceea ce poartă denumirea de „interacţie a microobiectului cu obiectul clasic", de „interacţie necontrolabilă" sau de „măsurare în mecanica cuantică", în limbajul ideilor lui Bohr-Heisenberg.

O astfel de „măsurare" nu are nimic comun cu măsurarea reală.

În adevăr, în primul rînd, însuşi aparatul sau „obiectul clasic" este, din punctul de vedere al lui Bohr-Heisenberg, în ultimă instanţă, o formaţie pur speculativă. Pentru aparat, nu sînt esenţiale decît proprietăţile sale „clasice", adică nu importă decît că aparatul *„este subordonat* cu suficientă precizie *mecanicii clasice"*, şi nu proprietăţile sale de corp fizic. De exemplu, în cartea lui L. Landau şi E. Lifşiţ, „Mecanica cuantică" (partea I, 1948), se explică, în spiritul ideii complementarităţii: dacă, în camera Wilson se observă mişcarea unui electron, după urma de ceaţă pe care o lasă (a cărei grosime este mare în comparaţie cu dimensiunile atomului), atunci „la o astfel de precizie a determinării traiectoriei, electronul este un obiect perfect clasic" (p. 13). În explicaţia citată, problema obiectului este pusă într-un mod cel puţin echivoc: faptul că un obiect este „clasic" sau „cuantic" nu depinde decît de precizia măsurării sale. Dar nu numai atît. Din această explicaţie, mai rezultă că, atunci cînd în mecanica cuantică este vorba de un aparat, pe cercetător nu trebuie să-l intereseze proprietăţile fizice ale acestuia (care se folosesc în cercetarea obiectului), ci numai faptul ca corpul care serveşte drept aparat să fie subordonat cu suficientă precizie mecanicii clasice. În ce măsură acest lucru este corect, vom lămuri mai jos.

În al doilea rînd, în urma unei astfel de interpretări a aparatului, însăşi interacţia obiectului cu aparatul se transformă într-un antipod fantezist al interacţiei reale. „Interacţia necontrolabilă", cu alte cuvinte, principiul nedeterminării nu are nici o legătură cu experienţa fizică, iar însăşi „măsurarea în mecanica cuantică", care figurează în concepţia complementarităţii, nu este o măsurare bazată pe experiment şi realizată prin acesta, ci o operaţie speculativă de cea mai pură speţă, care nu are nimic comun cu experienţa.

Aşadar, experimentele mintale ale lui Heisenberg (menite să întemeieze relaţia de nedeterminare şi care „fundamentează", în realitate, principiul nedeterminării) nu au de-a face cu fenomene fizice reale, ci cu construcţii speculative, bazate pe confruntarea



noţiunilor ondulatorii şi corpusculare clasice. Pentru şcoala de la Copenhaga, „măsurarea în mecanica cuantică" este mai puţin decît orice măsurare care se foloseşte în fizică la studiul fenomenelor din natură şi, în special, al microfenomenelor. Reamintim că măsurarea mărimilor atomice înseamnă găsirea caracteristicilor acestor mărimi, pe baza indicaţiilor unor aparate şi cu ajutorul teoriei cuantice. Trebuie să ţinem seama de faptul că, între indicaţia aparatului, percepută cu ajutorul simţurilor, şi rezultatul real al măsurătorii se află în mod necesar un proces teoretic complex, care numai el este în stare să transforme o simplă informaţie despre fenomenele observate în aparate într-o apreciere a fenomenelor obiective din natură, existente independent de aparat şi cercetate cu ajutorul aparatului. Acest lucru este valabil pentru toate fenomenele fizice pe care le studiază omul şi, în particular, pentru cele microscopice.

Că „măsurarea în mecanica cuantică", în interpretarea şcolii de la Copenhaga, nu este măsurarea reală, poate fi arătat şi analizînd însuşi procesul de măsurare din mecanica cuantică.

Să presupunem că trebuie să măsurăm o mărime proprie unui obiect într-o stare dată. Dacă măsurăm, în acest scop, un electron individual, atunci, întrucît măsurarea (mai precis, procedeul fizic prin intermediul căruia se realizează această măsurare) îi schimbă în general starea, noi nu vom reuşi, într-un singur act de măsurare, să rezolvăm problema propusă. Prin urmare, la măsurarea unei mărimi cuantice, avem de-a face cu un ansamblu de electroni care nu interacţionează, aflaţi toţi în aceeaşi stare. Aceasta înseamnă că măsurarea mărimii cuantice presupune, de la început, existenţa unui ansamblu statistic. De exemplu, determinarea poziţiei unui electron dintr-un atom nu înseamnă aflarea poziţiei unui electron individual într-un atom individual, ci găsirea directă a distribuţiei acestor poziţii într-un ansamblu numeros de atomi, care se găsesc în aceleaşi condiţii.

Experimentul mintal al lui Heisenberg nu satisface această condiţie, care se pune măsurării în mecanica cuantică. Dacă el realizează măsurarea, atunci această măsurare nu este decît un act izolat. De aceea, prin intermediul lui, nu putem măsura o mărime cuantică. Astfel, la determinarea poziţiei unui electron cu ajutorul „microscopului" din experimentul mintal al lui Heisenberg, nu putem determina această poziţie, deoarece un singur foton difuzat nu dă o pată pe placa fotografică, după care să ne facem o idee despre poziţia electronului (o astfel de pată nu se

obține decît la acțiunea mai multor fotoni). Riguros vorbind, chiar punerea problemei măsurării unei mărimi cuantice prin intermediul unui experiment mintal al lui Heisenberg este nefundată; școala de la Copenhaga nu pune în fața unui experiment mintal de tipul „microscopului" lui Heisenberg decît un singur scop: să fundeze, prin raționamentele corespunzătoare, principiul nedeterminării, și nicidecum problema măsurării unor microobiecte.

Măsurarea unei mărimi fizice presupune, în teoria clasică de asemenea, existența unui ansamblu statistic. În conformitate cu ideile fizicii clasice, ansamblul statistic este format din rezultatele măsurătorilor repetate asupra unui obiect individual, efectuate cu un aparat neschimbat. Aici avem aplicarea calculului probabilităților la măsurarea unor mărimi fizice, cînd se ține seama de așa-numitele erori întîmplătoare; la repetarea cu aceeași grijă a măsurării unei mărimi fizice, aceste erori se manifestă în aceea că rezultatele măsurătorilor diferă, în general, întrucîtva unele de altele (cauzele acestor deosebiri nu depind de experimentator și au, în raport cu procesul de măsurare, un caracter întîmplător).

Așadar, din punctul de vedere al fizicii clasice, determinarea rezultatului unei măsurători presupune repetarea de mai multe ori a măsurării unui obiect individual și aplicarea calculului probabilităților și a metodelor statistice la mulțimea acestor acte de măsurare.

Din cele spuse mai sus despre măsurarea în mecanica cuantică, apare clar în ce constă deosebirea acestei măsurări de cea din teoria clasică. La măsurarea din mecanica cuantică, nu avem de-a face direct cu obiecte individuale, ci cu ansamble statistice și, de aceea, în particular, problema erorilor întîmplătoare la măsurarea mărimilor cuantice se rezolvă pe o altă bază decît la măsurarea mărimilor clasice.

Face impresia că o astfel de comparare a măsurării în fizica clasică și în mecanica cuantică ar fi lipsită de conținut: nici un fizician nu identifică teoria măsurării în mecanica cuantică cu teoria erorilor. Însă această problemă are o semnificație mai profundă decît cea care apare la prima vedere.

În literatura de fizică, poate fi întîlnită părerea că orice teorie clasică este, în fond, statistică și, în această privință, nu se deosebește principial de mecanica cuantică. Acest lucru ar rezulta



de acolo că afirmațiile din teoria clasică și din cea cuantică se referă la mulțimi de experimente repetate[1].

Considerațiile dezvoltate mai sus arată că această părere este greșită. Și în mecanica cuantică și în teoriile clasice, afirmațiile nu se referă la experimente, ci la fenomenele fizice și la legile lor, care există înainte de orice experiment și sînt cunoscute prin experimente. În mecanica clasică, se studiază legile mișcării unor particule individuale, și, pe baza cunoașterii acestor legi și cu ajutorul metodelor statistice, este studiată comportarea ansamblelor de particule. În mecanica cuantică, legile fenomenelor atomice care se produc în masă se cercetează direct, iar comportarea obiectelor atomice individuale se exprimă prin intermediul concepțiilor statistice. De aceea, dacă este vorba de măsurarea în mecanica clasică și în cea cuantică, atunci deosebirea indicată a mecanicii clasice de cea cuantică apare în afirmațiile referitoare la teoria fizică, fără de care nu putem determina rezultatul unei măsurători. Astfel, la măsurarea mărimilor care caracterizează fenomenele atomice, pentru a trage concluzii despre valoarea mărimilor pe baza indicațiilor aparatelor de măsură, se aplică teoria cuantică; la măsurarea mărimilor care caracterizează fenomene macroscopice, pentru obținerea concluziei respective, se aplică teoria clasică corespunzătoare. Principiul măsurării, care constă în aceea că, pe *cale teoretică*, se trag concluzii despre valoarea mărimii măsurate, cunoscîndu-se indicațiile aparatului de măsură, este valabil, în egală măsură, pentru măsurarea în mecanica cuantică și în fizica clasică.

În general, putem da o rezolvare corectă problemelor referitoare la măsurare, dacă plecăm de la recunoașterea obiectelor și a legilor comportării lor, reflectate de teoria fizică și existente independent de măsurare. Dacă, dimpotrivă, considerăm că, fără referire la actele de măsură, nu se poate afirma existența obiectelor și a legilor comportării lor, atunci problema măsurării capătă un caracter propriu idealismului „fizic".

De exemplu, în problema măsurării, calea idealismului „fizic" este urmată de R. Mises. Pe de o parte, el pornește de la ideea că măsurarea este un fenomen de masă, considerat pe baza noțiunilor statistice, iar pe de altă parte, de la condiția ca teoria să se aplice principial numai în legătură cu experimentul care servește la verificarea ei, adică limitată la ceea ce poate fi perceput prin simțuri, sau este „principial" observabil. Mises ajunge, natu-

[1] Vezi L. I. Mandelștam, *Polnoe sobranie trudov*, vol. V, p. 355.

ral, la concluzia că, în domeniul macroscopic, putem vorbi sau despre determinism, sau despre indeterminism, după cum folosim un aparat de măsură primitiv sau unul mai perfecţionat. În ceea ce priveşte microfizica, Mises, referindu-se la experimentele mintale ale lui Heisenberg, cedează acest domeniu indeterminismului[1].

Concepţiile lui Mises asupra cauzalităţii şi a legilor fizice vor fi analizate în cap. V. Menţionăm aici că Mises subordonează în întregime problema măsurării principiului observabilităţii. Aceasta este cauza pentru care, în loc să servească la cunoaşterea naturii, măsurarea se transformă la el în ceva absolut, iar aparatele devin ceva primar în raport cu procesul fizic studiat prin intermediul lor.

Analiza noastră a problemei măsurării în mecanica cuantică subliniază, o dată în plus, că experimentul mintal al lui Heisenberg nu este un experiment mintal care reconstituie într-o abstracţie o măsurare reală (un experiment real) ci este un raţionament care fundează principiul complementarităţii. Aparatul nu joacă, în mecanica cuantică, nici un rol specific, în sensul şcolii de la Copenhaga, în comparaţie cu aparatul din fizica clasică. Susţinerea rolului special al aparatului în mecanica cuantică nu este decît formularea, răsturnată într-un mod idealist, a datelor despre proprietăţile corpuscular-ondulatorii inseparabile ale obiectelor atomice.

Să examinăm, în încheiere, unele puncte de vedere asupra măsurării şi asupra rolului aparatului în mecanica cuantică.

În cartea lui L. Landau şi E. Lifşiţ, „Mecanica cuantică", se afirmă: „Prin măsurarea în mecanica cuantică, se înţelege orice proces de interacţie între obiecte clasice şi un obiect cuantic, care se produce în afara observatorului şi independent de acesta"[2].

Nu putem fi de acord cu această afirmaţie.

Această afirmaţie este greşită, în primul rînd, pentru că, după ea, măsurarea nu se deosebeşte de interacţia obiectelor fizice. Ea mai este greşită şi pentru că, în ea, „interacţia dintre obiectele clasice şi obiectul cuantic" se identifică cu „măsurarea în mecanica cuantică" şi, prin urmare, conform ideii acestei identificări, măsurarea în mecanica cuantică se deosebeşte principial de măsurarea în fizica clasică. În sfîrşit, problema observatorului joacă, în fundarea mecanicii cuantice, cu totul alt rol decît cel pe care i-l atribuie autorii cărţii. Să analizăm consideraţiile care se referă la aceasta.

[1] Vezi R. Mises, *Despre legea cauzală şi statistică în fizică*, UFN, vol. X, fasc. 4, 1930, pp. 458—462.

[2] L. Landau şi E. Lifşiţ, *Kvantovaia mehanika*, partea I, p. 13.



După cum se ştie, interpretarea şcolii de la Copenhaga susţine teza interacţiei necontrolabile a microobiectului cu aparatul. „Necontrolabilitatea" înseamnă recunoaşterea necesităţii unei coordonări principiale a microobiectului şi a aparatului, adică recunoaşterea întregului, ca să zicem aşa, specific „instrumental" care — după şcoala de la Copenhaga — ar deosebi mecanica cuantică de cea clasică.

Esenţa problemei este, în realitate, alta. Să considerăm fizica clasică şi, pentru aceasta, să revenim la exemplul citat în cap. II. Dacă dorim să măsurăm precis, cu ajutorul unui termometru, temperatura apei dintr-un vas, trebuie să ţinem seama de faptul că temperatura apei se schimbă, în urma introducerii termometrului în ea. Însă din indicaţiile termometrului, recurgînd la teoria fenomenelor termice, putem trage concluzii despre temperatura apei înainte de a fi introdus în ea termometrul. Oare, în această privinţă, mecanica cuantică se deosebeşte de teoria clasică? Nicidecum. De exemplu, reţeaua de difracţie modifică starea electronilor, îi transformă într-un ansamblu nou (o stare nouă) însă, pe baza datelor furnizate de reţeaua de difracţie, pe baza imaginii de difracţie, recurgînd la teoria cuantică cu funcţia ei de undă, putem emite aprecieri despre ansamblul iniţial. Din aceste exemple, reiese clar că nu măsurarea modifică obiectul, ci procedura fizică, fără de care ea nu poate fi realizată. Măsurarea presupune efectuarea unei anumite proceduri fizice, dar nu se reduce la aceasta, adică pentru îndeplinirea scopului ei, măsurarea mai trebuie să recurgă, în afară de utilizarea indicaţiilor aparatului, şi la o anumită teorie fizică. În mecanica cuantică, ca şi în întreaga fizică, măsurarea este, în primul rînd şi în ultimă instanţă, procesul cunoaşterii laturilor cantitative ale obiectelor, care există în afară de aparat şi independent de el. De aceea, din punctul de vedere al cunoaşterii fenomenelor fizice, rolul aparatului este acelaşi în mecanica cuantică ca şi în mecanica clasică.

V. I. Lenin scrie: „Noi nu putem reprezenta, exprima, *măsura* şi înfăţişa mişcarea fără să nu întrerupem continuitatea, fără să nu simplificăm, să luăm grosso modo, să fragmentăm şi să mortificăm ceea ce este viu"[1]. Tocmai aceasta nu trebuie să

[1] V. I. Lenin, *Caiete filozofice*, E.S.P.L.P., 1956, p. 234 (Sublinierea îmi aparţine. — *M.O.*).

uităm, atunci cînd este vorba de măsurarea în mecanica cuantică, că măsurarea este un proces de cunoaştere. Măsurarea nu este o interacţie a obiectelor fizice, deşi prezenţa unei astfel de interacţii reprezintă o condiţie necesară pentru efectuarea măsurătorii. După cum am indicat mai sus, măsurarea este un proces de cunoaştere, în care determinăm, cu ajutorul unui experiment, o latură cantitativă a fenomenelor studiate.

A numi măsurare în mecanica cuantică procesul interacţiei unui obiect clasic cu unul cuantic, care se produce în afara observatorului şi independent de el, înseamnă a deschide calea pentru confundarea materialismului şi a subiectivismului în interpretarea mecanicii cuantice. În primul rînd, dacă înţelegem prin măsurare orice interacţie între un obiect clasic şi unul cuantic şi dacă definim aparatul ca un obiect fizic subordonat cu suficientă precizie mecanicii clasice, aşa cum figurează la L. Landau şi E. Lifşiţ, aceasta va însemna: ori termenul de măsurare este în mecanica cuantică un termen pur convenţional, ori măsurătorile (ca şi aparatele) pot exista fără subiectul care efectuează măsurarea.

Şi, în afară de aceasta: oare se va schimba esenţa idealistă a concepţiei complementarităţii dacă vom scoate din ea termenul de „observator", înlocuindu-l prin termenul de „aparat fotografic" sau de „cameră Wilson" şi, în general, dacă înlocuim termenul de „observator" prin termenul de „aparat"?

La ultima întrebare, nu există decît un singur răspuns: nu, nu se va schimba. Aceasta nu rezultă numai din expunerea precedentă a problemei măsurării în mecanica cuantică, ci este un lucru pe care îl arată în fond şi idealiştii moderni. Astfel, Reichenbach, cunoscutul neomachist, pledînd — s-ar părea — pentru ştiinţă, perorează despre „misticismul filozofic" al autorilor care afirmă că, în teoria cuantică, se realizează ideea: subiectul creează obiectul în actul de percepţie etc. „Nu putem recunoaşte — scrie el — că vreo versiune a unui astfel de misticism filozofic s-ar baza pe mecanica cuantică. La fel cu alte teorii ale fizicii, mecanica cuantică nu are de-a face decît cu relaţii între lucruri fizice; toate afirmaţiile ei pot fi făcute fără a recurge la observatori: acest lucru este ilustrat prin aceea că putem înlocui persoana care efectuează observaţiile prin aparate fizice, de exemplu, printr-o celulă fotoelectrică"[1].

[1] H. Reichenbach, *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*, pp. 15—16.



Prin faptul că Reichenbach a lăsat la o parte termenul de „observator" din concepţia complementarităţii, aceasta din urmă nu a devenit cîtuşi de puţin materialistă. Tocmai de aceea Reichenbach încearcă să infirme materialismul, bazîndu-se pe principiul complementarităţii.

Interpretarea măsurării pe care o susţin L. Landau şi E. Lifşiţ duce la o rezolvare greşită a problemelor principiale referitoare la măsurarea în mecanica cuantică, sau, cum spun ei, a problemei modului în care „proprietăţile procesului de măsurare sînt legate de aparatul matematic al mecanicii cuantice"[1].

După părerea lui L. D. Landau şi E. M. Lifşiţ, procesul de măsurare în mecanica cuantică constă în aceea că aparatul şi, să zicem, electronul ajung în interacţie unul cu altul şi, în urma acesteia, aparatul trece din starea iniţială într-o altă stare, iar această modificare ne permite să emitem aprecieri despre starea electronului.

Autorii raţionează mai departe despre descrierea stării aparatului cu ajutorul funcţiei de undă şi, folosind aparatul matematic al mecanicii cuantice (funcţiile de undă, ecuaţiile cuantice), studiază interacţia electronului şi a aparatului. Ca rezultat, ţinînd seama de „caracterul clasic al aparatului" la obţinerea funcţiei de undă a electronului după măsurare, autorii ajung la concluzia că aparatul matematic al mecanicii cuantice „exprimă posibilitatea de a obţine prin măsurare starea electronului, descrisă printr-o funcţie de undă determinată"[2].

Credem că aceste consideraţii ale autorilor duc la o nepotrivire. Pe de o parte, autorii încearcă să arate în ce mod în aparatul matematic „este exprimată posibilitatea de a obţine, prin măsurare, starea electronului", adică în ce mod în aparatul matematic se reflectă „interacţia aparatului cu electronul" şi, corespunzător, aplică aparatului „descrierea cuantică". Pe de altă parte, numai după variaţia stării aparatului, putem emite aprecieri despre starea electronului şi deci verifica justeţea oglindirii de către aparatul matematic a interacţiei corespunzătoare „dintre aparat şi electron"; prin urmare, aparatului trebuie să i se aplice numai o „descriere clasică".

Aşadar, în problema măsurării în mecanica cuantică, L. D. Landau şi E. M. Lifşiţ cad într-o contradicţie. Punctul de vedere al lui Bohr şi Heisenberg asupra măsurării în mecanica cuantică

[1] L. D. Landau şi E. M. Lifşiţ, *Kvantovaia mehanika*, p. 34.
[2] *Ibidem*, p. 36.

este lipsit de această contradicție. Aceasta se explică prin faptul că Bohr și Heisenberg nu caută în aparatul matematic al mecanicii cuantice „reflectarea" principiului complementarității; ei încearcă numai să arate că acest principiu nu contrazice aparatul matematic și este o „fundamentare fizică" a acestuia.

### 3. Aparatul și rezultatul măsurătorii

Valoarea unei mărimi fizice se exprimă ca rezultat al unei măsurători. Apreciem rezultatul unei măsurători după numărul de bare de o anumită lungime, care intră de un anumit număr de ori (dacă măsurăm, de exemplu, lungimea unei mese), după devierea acului unui ampermetru (dacă măsurăm intensitatea unui curent electric), după înălțimea coloanei de mercur din termometru (dacă măsurăm temperatura), după indicațiile contorului Geiger (dacă determinăm numărul de electroni) etc. Rezultatul măsurătorii nu este însăși mărimea fizică, ci expresia cunoștințelor noastre asupra acestei mărimi. Această idee o subliniază materialismul în fizică. Dimpotrivă, idealismul din fizica modernă identifică mărimea fizică cu rezultatul măsurătorii și, cîteodată, pînă și cu indicația aparatului; din punctul de vedere al idealismului, mărimea fizică se naște în procesul de măsurare. În conformitate cu acest punct de vedere, mărimile fizice care caracterizează, de exemplu, atomul se transformă în ceva introdus de experimentator, și anume introdus pentru ca, din anumite principii, să deducă, pe cale logică, indicațiile aparatului de măsură. Astfel, Eddington afirmă că mărimea fizică este creată de operațiile noastre de măsurare sau de experimentele și observațiile noastre și, de aceea, este un lucru fabricat[1]. Identificarea mărimii fizice cu rezultatul măsurătorii este, de asemenea, unul dintre fundamentele concepției complementarității.

Pe noi nu ne va interesa însă problema generală a relației dintre rezultatul unei măsurători și mărimea fizică, această problemă fiind studiată suficient în literatură, ci problema mai concretă a rolului aparatului în procesul măsurării unei mărimi. Această din urmă problemă este încă insuficient clarificată și idealismul „fizic" profită de această situație.

Măsurarea, ca proces de cunoaștere a aspectului cantitativ al fenomenelor studiate, este subordonată problemei cunoașterii

[1] Vezi A. Eddington, *Teoria relativității*, L.—M., 1934, p. 12 și urm.



legilor acestor fenomene. Procesul măsurării, care însoțește experimentul și se bazează pe el, presupune existența unor legi determinate ale naturii și se sprijină pe cunoașterea acestor legi.

Cu cît fenomenul fizic sau obiectul studiat este mai depărtat de organele de simț ale omului, în sensul acțiunii asupra acestora, cu atît mai indirect este caracterul pe care-l capătă cunoașterea necesară pentru găsirea rezultatelor corespunzătoare ale măsurătorii, iar rolul aparatelor ca mijloace de cercetare devine deosebit de însemnat.

Din acest punct de vedere, rezultatele măsurării mărimilor și principiile care reflectă legile fenomenelor atomice se vor deosebi de rezultatele măsurătorilor și de principiile care oglindesc fenomenele obișnuite, „vizibile", prin caracterul lor — ca să ne exprimăm astfel — multiplu mediat; în rezultatele măsurătorilor și în principiile științei fizice, trebuie să-și găsească și își găsește o expresie finală munca de abstracțiune a gîndirii. Numai pe baza cunoașterii unor legi determinate, aparatele pot fi folosite corect ca mijloc de cercetare, și numai datorită acestei cunoașteri, fizicianul capătă — cu ajutorul aparatelor — rezultate care corespund realității obiective.

Să trecem la o analiză mai amănunțită a problemei rolului pe care-l joacă aparatul în procesul de obținere a rezultatului unei măsurători.

După cum am stabilit, cu ajutorul aparatelor din al treilea grup, se studiază fenomenele care nu sînt percepute direct de nici un fel de organ de simț, în timp ce aparatele din primul și al doilea grup dau informații exacte despre fenomenele percepute direct de o anumită facultate sensorială (reamintim că aparatele din grupul al doilea nu fac decît să lărgească în mod artificial limitele percepției).

Să presupunem că măsurăm o distanță nu prea mare. Acest lucru se realizează prin aplicarea succesivă a unei anumite bare, de exemplu a unui metru (măsurare directă). Această distanță poate fi măsurată și pe cale indirectă, de exemplu cu ajutorul unei baze geodezice. Menționăm că metoda bazei conține drept element necesar măsurarea directă a lungimii bazei. Primul rezultat și al doilea, cel obținut direct și cel obținut prin măsurarea indirectă, dacă cele două măsurători s-au efectuat corect, coincid, ceea ce înseamnă, printre altele, o verificare în plus a teoriei geometrice cu ajutorul căreia a fost calculat rezultatul, la metoda de măsurare cu ajutorul bazei.

Analiza procesului de cercetare cu ajutorul aparatelor din grupul al doilea nu dă nimic nou în privinţa problemelor ce ne interesează, în comparaţie cu analiza procesului de măsurare cu ajutorul aparatelor din primul grup. Acest lucru este lesne de înţeles, deoarece folosirea aparatelor din grupul al doilea nu face decît să lărgească în mod artificial limitele de percepere corespunzătoare: în acest sens, microscopul şi telescopul îndeplinesc principial aceleaşi funcţii ca şi un ochi mai „perfecţionat". Să presupunem, de exemplu, că determinăm diametrul unui fir de păr, şi se cere să arătăm acest proces în faţa unui auditoriu mare. Cu ajutorul unui simplu microscop, imaginea firului de păr poate fi proiectată pe un ecran; pe această imagine, grosimea firului de păr se indică cu două vîrfuri de săgeată. Apoi îndepărtăm firul de păr şi-l înlocuim cu o scară gradată, trasată pe sticlă, de exemplu, un milimetru împărţit într-o sută de părţi (micrometru obiectiv). Să presupunem că, între vîrfuri, citim patru diviziuni ale scării. Grosimea firului de păr reprezintă deci $4 \cdot 10^{-2}$ mm[1].

Aşadar, rezultatul unei măsurători, obţinut cu ajutorul aparatelor din primul sau al doilea grup, poate avea un caracter indirect, adică el poate fi obţinut din datele măsurării directe a unui alt obiect perceput, legat de obiectul studiat printr-o anumită dependenţă. Dar rezultatul măsurătorii, obţinut cu ajutorul aparatelor din primul sau al doilea grup, mai poate fi obţinut şi pe cale directă, adică natura indirectă a rezultatului, în sensul indicat, pentru măsurătoarea efectuată cu un aparat din primul sau al doilea grup nu are un caracter esenţialmente necesar.

Alta este situaţia în cazul cercetării fenomenelor, a corpurilor cu proprietăţile lor şi, în general, a obiectelor fizice cu ajutorul aparatelor din grupul al treilea. Din punctul de vedere al procesului obţinerii sale (şi numai din acest punct de vedere considerăm noi aici rezultatul unei măsurători), rezultatul măsurătorii este în mod necesar indirect.

Să presupunem că măsurăm intensitatea unui cîmp magnetic. Fenomenele magnetice nu sînt percepute de organele de simţ ale omului, însă observînd devierea acului indicator al aparatului corespunzător, care realizează legături determinate între fenomenele magnetice şi cele mecanice, omul obţine rezultatul măsurării intensităţii cîmpului magnetic. Să mai citäm un exemplu, care este important pentru că, relativ la conţinutul său, există o părere exprimată de Engels.

[1] Acest exemplu a fost luat din cartea lui R. W. Pohl, *Introducere în mecanică şi în acustică*, M.—L., 1933, p. 15.



Să presupunem că măsurăm temperatura aerului dintr-o cameră. Deşi căldura este resimţită de piele, omul măsoară temperatura folosind văzul şi urmărind coloana de mercur din tubul termometrului. Desigur, un astfel de mod de măsurare este posibil, numai pentru că omul ştie că căldura se transmite de la un corp la altul. „...Căldura (se măsoară) — scrie Engels — prin dilatarea unui corp încălzit. Dacă în acest caz căldura nu s-ar transmite de la un corp la altul — la cel care serveşte drept etalon —, cu alte cuvinte dacă temperatura corpului etalon nu s-ar schimba, atunci nu s-ar putea vorbi de măsurare, de modificarea mărimii"[1].

Măsurătorile efectuate cu ajutorul aparatelor din grupul al treilea caracterizează practica fizică la un nivel ridicat al dezvoltării ei. În cazul de faţă, corpurile şi fenomenele măsurate, ori nu sînt percepute de nici un fel de facultate sensorială a omului, ori sînt percepute de o facultate sensorială diferită de cea prin intermediul căreia este perceput fenomenul din aparat (indicaţia aparatului), pe baza căruia se apreciază rezultatul măsurării mărimii.

În această privinţă, trebuie să menţionăm în mod special măsurările electrice. Ele cuprind un domeniu de măsurători, nu numai pentru mărimile electrice şi magnetice, ci şi pentru mărimi neelectrice. Tehnica modernă foloseşte aparate electrice, cu ajutorul cărora se măsoară viteza şi spaţiul parcurs, acceleraţia mişcării de translaţie sau de rotaţie, intervale de timp, începînd cu microsecunda şi terminînd cu ora, deplasările liniare mici de la un micron şi pînă la un milimetru. Există aparate electrice pentru măsurarea intensităţii sunetului, a umezelii aerului, a concentraţiei ionilor din soluţii etc.

Construcţia şi utilizarea aparatelor din al treilea grup presupune aplicarea legilor geometriei, ale mecanicii, ale fizicii, în sensul larg al cuvîntului, a legilor care leagă fenomenul studiat, neperceput direct, de fenomene percepute direct cu ajutorul organelor de simţ.

În exemplul cu măsurătorile electrice, utilizarea aparatelor electrice pentru măsurătorile cele mai variate se bazează, în primul rînd pe faptul că fenomenele electrice prezintă legături extrem de variate cu fenomene neelectrice, aşa încît, cunoscînd

[1] F. Engels, *Dialectica naturii*, E.S.P.L.P., p. 289.

legile acestor legături şi legile electromagnetismului, putem determina, pe baza măsurării mărimilor electrice, valoarea mărimilor neelectrice. În cazul măsurătorilor cu ajutorul aparatelor din grupul al treilea, între indicaţiile aparatului, percepute sensorial, şi rezultatele măsurătorii care exprimă mărimea fizică se află un lanţ complicat de raţionamente, bazat pe o teorie fizică determinată.

Aşadar, rezultatul măsurării unei mărimi, obţinut cu ajutorul unui aparat din grupul al treilea, nu presupune numai activitatea organelor de simţ, ci în special activitatea gîndirii care, în combinaţie cu activitatea organelor de simţ, depăşeşte limitarea acestora din urmă şi descoperă în faţa cunoaşterii omeneşti fenomenele inaccesibile direct perceperii sensoriale. Dacă se afirmă, de exemplu, că folosirea camerei Wilson ne-a permis să observăm şi deci să măsurăm electronii şi atomii individuali, să urmărim traiectoria mişcării lor etc., cuvîntul „să observăm" sau „să urmărim" trebuie înţeles aici într-un sens indirect: astăzi, fizicianul „observă" atomii individuali, aşa cum „observa" atomii în secolul XIX, în fond mai mult cu ajutorul gîndirii decît al văzului[1]. Dacă Kohlrausch a „auzit", cu ajutorul unui telefon, că în 15 $cm^3$ din apa cea mai pură care a existat vreodată pe suprafaţa pămîntului sînt dizolvate cîteva sutimi de miimi de miligram de substanţe solide (datorită conductibilităţii electrice a acestei ape), atunci iarăşi el nu a „auzit" aceasta atît cu ajutorul urechii cît cu ajutorul gîndirii. Avea dreptate Engels, cînd scria: „Ochiului nostru i se adaugă nu numai toate celelalte simţuri, ci şi activitatea gîndirii noastre... Pentru a şti ce poate cuprinde gîndirea noastră, nu serveşte la nimic să încercăm — astăzi, la o sută de ani după Kant — a determina limitele gîndirii prin criticarea raţiunii, prin cercetarea instrumentului cunoaşterii; lucrul acesta este tot atît de inutil ca şi încercările lui Helmholtz de a descoperi în imperfecţiunea văzului nostru . . . şi în conformaţia ochiului nostru, care limitează în oarecare măsură vederea noastră şi care chiar în interiorul acestor limite nu dă o reproducere absolut exactă, o dovadă că ochiul ne furnizează informaţii false sau nesigure despre însuşirile celor văzute de noi. Noi ne putem da seama de ceea ce e în stare să pătrundă gîndirea noastră după ceea ce ea a pătruns pînă acum şi după ceea ce

[1] Vezi F. Engels, *Dialectica naturii*, E.S.P.L.P., p. 205. Compară observaţia: Atomul şi molecula etc. nu se pot observa la microscop ci numai cu ajutorul gîndirii". Utilizarea camerei Wilson sau a microscopului electronic nu schimbă valabilitatea conţinutului principal al observaţiei lui Engels.



ea pătrunde pe zi ce trece. Iar aceasta este de ajuns atît cantitativ cît şi calitativ"[1].

Expresia materială a faptului că, la cunoaşterea corpurilor şi a fenomenelor fizice, omul asociază organelor sale de simţ activitatea gîndirii, este fabricarea şi utilizarea aparatelor. Pe de altă parte, utilizarea de către om a unor anumite aparate serveşte drept indiciu al nivelului la care a ajuns cunoaşterea naturii. Este de ajuns să comparăm, de exemplu, microbalanţa, eşalonul lui Michelson, termometrul electric, galvanometrul cu oglindă, condensatorul care permite să se măsoare sarcina unui electron individual, spectrograful de masă, microscopul electronic cu mijloacele experimentale utilizate pe timpul lui Faraday, pentru a ne convinge cît de important este saltul săvîrşit de ştiinţa fizică în ultimul secol.

Progresul ştiinţei şi al tehnicii duce la sistemul de mijloace experimentale, reunite într-un ansamblu experimental organic, pe care îl numim dispozitiv experimental dezvoltat.

Orice dispozitiv experimental dezvoltat se compune din patru elemente esenţialmente diferite: 1) aparatul-fixator, care fixează fenomenele din aparat, după care ne facem o idee despre fenomenele studiate; 2) dispozitivul care permite să sezisăm fenomenele nepercepute de o facultate senzorială dată, în mod indirect, prin alte fenomene, percepute direct de această facultate senzorială (dispozitivul transformator); 3) aparatul care lărgeşte limitele de percepţie ale facultăţii senzoriale date; 4) mijlocul experimental care furnizează energia pentru aparatul fixator, pentru a-l aduce într-o stare în care el să-şi poată îndeplini funcţia. Ultimele trei elemente ale dispozitivului experimental există pentru ca aparatul fixator să-şi realizeze cît mai bine scopul, adică să înregistreze fenomenele corespunzătoare. Creşterea preciziei dispozitivelor experimentale porneşte, de fiecare dată, de la acest element al dispozitivului experimental dezvoltat, adică de la aparatul fixator. Drept exemplu de asemenea dispozitiv experimental, putem cita galvanometrul cu coardă, utilizat pentru măsurarea curenţilor de frecvenţă relativ înaltă. Rolul elementului al doilea (dispozitivul transformator) şi al patrulea îl joacă aici magnetul şi firul; la trecerea curentului prin coardă, acesta deviază şi serveşte drept aparat fixator (primul element); abaterea se observă la microscop (elementul al treilea) şi ne permite să apreciem intensitatea curentului care trece.

[1] F. Engels, *Dialectica naturii*, p. 244.

Expresia exterioară a faptului că aparatul fixator îşi îndeplineşte menirea este, să zicem, mişcarea unui indicator pe o scală, emiterea succesivă a unui anumit număr de sunete, apariţia unui anumit număr de scînteieri luminoase etc.

Dacă analizăm mai îndeaproape aparatul fixator, atunci cînd el reprezintă un dispozitiv de citire, vom descoperi în el, în linii mari, deşi într-o formă destul de puternic modificată, acelaşi aparat de măsură pe care-l utiliza omul înaintea apariţiei aparatelor moderne. El nu este însă vechiul aparat independent, care furniza date precise în limitele de percepere ale unei anumite facultăţi senzoriale, ci un aparat care este un element al unui dispozitiv de măsură dezvoltat, adică, ca atare, în afara unui dispozitiv anumit, el nu poate servi pentru scopuri de măsurare determinate. Astfel, cel mai vechi dispozitiv de măsură, rigla gradată, exista în aparate de măsură ca balanţa cu indicator, termometrul, galvanometrul, adică în aparatele pe care rezultatul măsurătorii este fixat cu ajutorul unui indicator care se deplasează pe o riglă gradată. Insă după cum ştim, elementul riglă gradată nu serveşte aici la măsurarea lungimii ci la măsurarea unor cu totul alte mărimi şi nu-şi poate realiza funcţia în afara dispozitivului său experimental.

Existenţa dispozitivului-transformator presupune prezenţa şi cunoaşterea de către om, cel puţin în mod empiric, a unor anumite legi. Lanţul acestor legi este adeseori foarte lung şi complicat. Drept exemplu în această privinţă, poate servi pirometrul termoelectric, utilizat la măsurarea temperaturilor înalte. Aici indicatorul este legat de un mic dinamometru. Acest aparat-element este legat de corpul cercetat prin următorul lanţ de fenomene: căldura dă naştere — într-un termocuplu conectat la un milivoltmetru — unei forţe electromotoare, care creează un curent electric în circuitul milivoltmetrului; acesta din urmă creează într-o bobină mobilă, aşezată în cîmpul unui magnet permanent, un cuplu de rotaţie, care acţionează direct asupra dinamometrului legat de acul indicator.

Un astfel de element al unui dispozitiv experimental dezvoltat cum este aparatul care extinde limitele de percepere ale unei anumite facultăţi senzoriale a omului nu joacă, în procesele de măsurare, decît un rol pur auxiliar. La operaţiile de măsurare ia parte mai ales ochiul. De aici se poate înţelege marele rol al aparatelor optice în măsurători. Utilizarea acestor aparate măreşte, în primul rînd, „precizia de citire".



După cum am arătat, toate cele patru elemente ale unui dispozitiv experimental dezvoltat pot exista ca mijloace de cercetare independente. Insă în acest caz, rolul lor în cunoaşterea fenomenelor fizice se deosebeşte de rolul lor, atunci cînd sînt elemente ale unui dispozitiv experimental şi, în afară de aceasta, ele sînt atunci limitate în puterea lor de cunoaştere, ca să ne exprimăm aşa, mai ales în ceea ce priveşte măsurarea. Numai atunci cînd ele devin elemente ale unui dispozitiv experimental dezvoltat, puterea lor de cunoaştere devine, cu dezvoltarea ştiinţei şi a practicii, nelimitată.

Fiecare aparat de măsură în parte seamănă cu un organ de simţ, în sensul că aparatul este caracterizat prin prezenţa unui prag de sensibilitate (pentru un organ de simţ, respectiv a unui prag de comparaţie) prin care înţelegem variaţia minimă a valorii mărimii care mai poate provoca variaţia cea mai mică a indicaţiilor aparatului de măsură şi, în afară de aceasta, prin prezenţa limitelor de măsurare (pentru organele de simţ — respectiv pragurile de excitaţie superior şi inferior), prin care înţelegem valorile mărimii măsurate între care indicaţiile aparatului satisfac normele stabilite. Existenţa pragului de sensibilitate şi a limitelor de măsurare limitează posibilităţile de măsurare inerente fiecărui aparat în parte (în această privinţă, aparatul seamănă iarăşi cu un organ de simţ). Insă dispozitivul experimental dezvoltat — şi aceasta rezultă din întreaga noastră expunere — cuprinde în el toate elementele necesare şi suficiente pentru depăşirea acestei limitări. Apărînd sub formă de dispozitiv experimental dezvoltat, aparatul capătă o formă de existenţă care determină înlocuirea unor mijloace de observaţie şi de măsură prin altele, mai fine şi mai perfecte. Fiind asociate organelor de simţ, mijloacele de observaţie şi de măsură din ce în ce mai fine şi mai perfecte extind nelimitat sfera lucrurilor cunoscute de om.

Din cele spuse, reiese că limitarea diferitelor aparate, care furnizează date asupra fenomenelor şi a obiectelor fizice, nu trebuie înţeleasă în sensul că cunoaşterea de către om a fenomenelor şi obiectelor fizice este limitată în mod absolut. Aparatele asociate organelor de simţ, ca şi organele de simţ înseşi ne furnizează, în limitele respective (determinate de structura aparatelor şi a organelor de simţ), date exacte asupra obiectelor fizice. Aceste limite nu sînt absolute, ci relative, şi ele variază o dată cu perfecţionarea aparatelor vechi şi crearea de aparate noi, pe baza ştiinţei şi a practicii în continuă dezvoltare; prin urmare, cu fie-

care pas înainte al cunoaşterii omeneşti, aparatele ne furnizează date din ce în ce mai precise, din ce în ce mai complete despre lumea care ne înconjoară.

Ceea ce ştim despre caracterul limitat al organelor de simţ şi al aparatelor ştiinţifice (organele noastre de simţ sînt „primitive" în comparaţie cu aparatele ştiinţifice, iar unele aparate sînt „fine" în comparaţie cu organele de simţ, însă „primitive" în comparaţie cu alte aparate etc.) — şi o ştim numai pe baza datelor furnizate de aceleaşi organe de simţ şi de aceleaşi aparate — ne arată că limitarea organelor de simţ şi a aparatelor nu este o barieră de netrecut pentru cunoaşterea oamenească, că această limitare este depăşită în procesul dezvoltării nemărginite a activităţii ştiinţifice şi practice a omului în cadrul societăţii. Mai mult, după cum insuficienţa vederii noastre este necesară, fapt despre care scria Engels (ochiul care ar percepe toate razele nu ar vedea nimic, tocmai din această cauză)[1], limitarea aparatelor ştiinţifice este de asemenea necesară, reprezintă tot o condiţie necesară a cunoaşterii nelimitate. Un aparat care ar măsura cu o precizie şi cu o completitudine nelimitate nu ar mai măsura, prin aceasta, de loc.

Am analizat elementele care formează un aparat, poate cu mai multe amănunte decît s-ar părea că o cere tema lucrării. Am făcut-o cu scopul de a sublinia mai bine ideea că, din punctul de vedere al cunoaşterii lumii materiale, rolul aparatului în mecanica cuantică nu se deosebeşte de loc de rolul lui în fizica clasică.

Reprezentanţii şcolii de la Copenhaga sînt conştienţi de faptul că aparatul este un important mijloc de cunoaştere a fenomenelor fizice, nu numai sub aspectul practic: în analiza lor teoretică a problemelor mecanicii cuantice, ei ţin seama de acest fapt. În orice experiment atomic, raţionează Heisenberg, atunci cînd naturii i se pune o întrebare despre un anumit proces obiectiv, „la analiza matematică a acestui proces, noi stabilim o delimitare netă între aparate, privite de noi ca un mijloc auxiliar pentru punerea întrebării şi aparţinînd astfel, într-un anumit sens, nouă înşine, şi sistemul fizic despre care vrem să aflăm ceva"[2].

Raţionamentul acesta nu are însă nimic comun cu interpretarea relaţiei dintre aparat şi obiectul observat, despre care am vorbit mai sus. Cum am arătat, după Heisenberg, delimitarea dintre obiectul observat şi aparatul de măsură este stabilită de

[1] Vezi F. Engels, *Dialectica naturii*, E.S.P.L.P., p. 244.
[2] W. Heisenberg, *Problemele filozofice ale fizicii atomice*, p. 43.



experimentator, care determină alegerea zonei de delimitare prin modul în care pune problema. Dacă ţinem seama de faptul că, după Heisenberg, obiectul atomic nu este reprezentat decît în mod simbolic de funcţia de undă şi că numai experimentele observatorului îi atribuie calităţi fizice, rezultă că rolul aparatului ca mijloc de cunoaştere se reduce, la Heisenberg, doar la „a fizicaliza" obiectul atomic (căruia „nu mai are sens să-i atribuim o structură spaţială")[1].

În literatura de fizică actuală, este reprezentat şi un punct de vedere asupra rolului aparatului în mecanica cuantică, după care aparatul şi microobiectul sînt considerate ca un singur obiect inseparabil; se pretinde că mecanica cuantică s-ar ocupa de obiecte de acest gen (de exemplu, acest punct de vedere îl susţine J. L. Destouches)[2]. Pentru a aprecia în mod just acest punct de vedere, trebuie să ţinem seama de faptul că, în cazul de faţă, prin „obiect" se înţelege, nu sistemul „aparat plus microobiect", studiat cu ajutorul unui nou aparat, ci un sistem al cărui concept ar intra în teoria însăşi a mecanicii cuantice.

Acest punct de vedere lărgeşte noţiunea de obiect în mecanica cuantică, incluzînd în ea şi aparatul (ultimul fiind considerat ca un „obiect clasic"); el nu explică însă de ce, în mecanica cuantică, există două tipuri de aparate ci, la fel cu Heisenberg, postulează acest lucru.

Includerea aparatului în noţiunea de obiect (cu care se ocupă mecanica cuantică) este o eroare, pentru că, în cazul unei astfel de includeri, îşi pierde sensul opunerea aparatului şi a obiectului, care este necesară, întrucît aparatul reprezintă un mijloc de cunoaştere şi întrucît nu aparatul (în combinaţie cu microobiectul) este „reflectat" de mecanica cuantică, ci prin intermediul aparatului studiem obiectele şi fenomenele microscopice.

Se înţelege că distingerea aparatului de obiect este relativă şi nu trebuie exagerată. Aparatul este un corp fizic şi, în procesul măsurării, el interacţionează cu obiectul, însă aceasta depăşeşte limitele a ceea ce face ca un corp fizic să fie aparat, şi anume depăşeşte limitele faptului că obiectul cercetat există independent de aparat şi în afara aparatului, prin intermediul căruia îl studiem.

Opunerea aparatului de măsură şi a obiectului măsurat este absolut necesară în aceste limite, însă dincolo de aceste limite, o

[1] W. Heisenberg, *Problemele filozofice ale fizicii atomice*, p. 68.
[2] Vezi „Journal de Physique", vol. 13, 1952, nr. 6, p. 354.

astfel de opunere ar fi inutilă şi greşită. Vom încerca să dezvoltăm mai jos aceste considerente.

Intr-un dispozitiv experimental dezvoltat, în afară de elementele despre care am vorbit, mai intră, ce-i drept nu în mod direct, şi condiţiile care ne permit să înţelegem fenomenul cercetat. În afara sferei acestor condiţii, experimentul nu poate fi, in general, organizat. De exemplu, pentru a studia transformarea apei în vapori, în afara apei mai sînt necesare şi condiţii ca presiunea atmosferică şi încălzirea apei. Aceste condiţii se găsesc în natură, sau sînt realizate de dispozitivele experimentale.

Rolul pe care-l joacă experimentul în cercetarea fenomenelor fizice este, de aceeea, atît de important, pentru că, folosind legile naturii şi bazîndu-se pe ele, experimentatorul determină — prin activitatea sa — procesele şi fenomenele cercetate. Folosind în mod conştient sau inconştient legile naturii, experimentatorul combină fenomene determinate într-un mod determinat şi obţine ca rezultat anumite efecte. În virtutea acestor proprietăţi, experimentul asigură, într-o măsură incomparabil mai mare decît observaţia, cercetarea proceselor şi fenomenelor într-o formă pură, neîntunecată prin circumstanţe care nu se leagă de scopurile cercetării, ceea ce are o importanţă hotărîtoare pentru deducerea unei legi pe baza datelor experimentale.

Aşadar, efectuarea experimentului, în afara utilizării aparatului cu ajutorul căruia se studiază fenomenul sau obiectul (aparatul propriu-zis), mai presupune şi realizarea unor anumite condiţii, în legătură cu care se consideră fenomenul. Aceste condiţii ori există în natură (condiţii naturale: în acest caz, experimentul se transformă într-o observaţie), ori sînt realizate de experimentator prin intermediul unui dispozitiv experimental corespunzător. Acesta din urmă nu trebuie confundat cu aparatul propriu-zis. Un exemplu de astfel de dispozitiv experimental poate fi dat de tot felul de mijloace mecanice, optice şi în general fizice care, sau reproduc fenomenul respectiv, sau realizează condiţiile pentru cercetarea lui (de exemplu, maşina Atwood, prisma, dispozitivul de difracţie, tubul vidat, tunul electronic etc.).

Pentru îndeplinirea unor anumite sarcini ale cercetării, aceste dispozitive experimentale sînt asociate aparatelor propriu-zise şi, în procesul de cercetare, formează cu acestea un singur tot, însă identificarea acestor mijloace experimentale şi a aparatelor propriu-zise este o eroare gravă care, după cum vom vedea mai departe, deschide drum liber idealismului în fizică. În adevăr, orice fenomen există numai în anumite condiţii şi poate fi înţeles corect



numai în legătură cu acestea. Cu cît ştie mai multe lucruri despre aceste condiţii, cu atît mai clar apare în faţa cercetătorului legea fenomenului care există pe baza acestor condiţii. Dispozitivele experimentale despre care a fost vorba mai sus realizează tocmai condiţiile în care desfăşurarea fenomenului este denaturată cît mai puţin de influenţe perturbatoare, încă necunoscute de cercetător.

Aşadar, dispozitivul experimental considerat este inseparabil de fenomenul cercetat, întrucît acesta din urmă este subordonat unei legi determinate, care există pe baza condiţiilor realizate de acest dispozitiv experimental.

Pe de altă parte, aparatul propriu-zis este un corp exterior faţă de fenomenul studiat şi nu serveşte decît la cunoaşterea (şi la măsurarea) acestuia, după cum am arătat în paragraful 1.

Aşadar, identificarea dispozitivului experimental considerat cu aparatul propriu-zis înseamnă identificarea condiţiilor materiale, legate inseparabil de fenomenul cercetat, cu mijlocul de cunoaştere, în afara căruia şi independent de care există fenomenul cercetat. O astfel de identificare greşită este caracteristică pentru concepţia complementarităţii. Să ne oprim la această problemă.

Să presupunem că un tun electronic serveşte drept sursă unui fascicul de electroni. Aceşti electroni trec printr-un cristal şi ajung pe o placă fotografică, lăsînd pe ea pete care formează o imagine de difracţie.

În acest exemplu, tunul electronic realizează condiţiile în care fluxul de electroni formează un ansamblu cuantic pur (electronii care ies din tun au aceeaşi viteză şi reprezintă un astfel de ansamblu, caracterizat printr-o undă plană de Broglie). Cristalul realizează condiţiile în care ansamblul cuantic iniţial se transformă într-un alt ansamblu cuantic (ansamblul cuantic pur se transformă într-un ansamblu cuantic mixt, caracterizat, de astă dată, nu printr-o undă plană de Broglie, ci printr-o colecţie de funcţii de undă noi). Placa fotografică fixează noul ansamblu cuantic şi, în afară de aceasta, furnizează date care ne permit să emitem aprecieri despre ansamblul cuantic iniţial.

Acest exemplu ne arată că transformarea ansamblelor cuantice este un proces obiectiv, adică ea există independent de experimentator, indiferent dacă el fixează sau nu ansamblele cuantice şi transformările lor cu ajutorul unui aparat corespunzător. Dacă avem un tun electronic sau o sursă analogă a unui flux monocromatic de electroni, atunci există şi un ansamblu cuantic pur, in-

dependent de faptul dacă el este fixat într-un anumit mod sau dacă nu este fixat de loc. Dacă există un cristal cu un flux de electroni care trece prin el, atunci există şi difracţia electronilor, există transformarea ansamblului cuantic pur într-un ansamblu cuantic mixt, indiferent dacă imaginea de difracţie de pe placa fotografică este sau nu fixată, indiferent chiar de existenţa acestei plăci.

După cum se ştie, concepţia complementarităţii afirmă, în cazul de faţă, că măsurarea, aparatul „prepară" starea, că măsurarea modifică în mod necontrolabil starea, că măsurarea aduce obiectul atomic, printr-un salt realizat în mod nedeterminat, într-o nouă stare etc. Am văzut că, încă înainte de orice măsurare, încă înainte ca imaginea de difracţie pe baza căreia putem cunoaşte ansamblele cuantice să fie întipărită pe placa fotografică, aceste ansamble cuantice existau, sufereau transformări şi, de aceea, afirmaţiile concepţiei complementarităţii trebuie respinse de la bun început. Se înţelege că, dacă nu distingem tunul electronic şi cristalul de aparatele propriu-zise şi dacă considerăm că mecanica cuantică nu studiază legile microfenomenelor ce au loc în proporţii de masă, ci „legile" electronilor individuali coordonaţi cu un aparat de un tip determinat, atunci afirmaţiile şcolii de la Copenhaga sînt îndreptăţite. Însă aceasta înseamnă că am ajuns la înţelegerea greşită a măsurării şi la viciile concepţiei complementarităţii, pe care le-am analizat mai sus. De aceea, în particular, nu „aparatul prepară starea", ci în mod experimental sînt create condiţiile în care proprietăţile unui ansamblu cuantic pot fi cercetate într-o formă neperturbată de circumstanţe exterioare.

Să ne oprim acum la articolul deja citat al lui V. A. Fok, „Critica concepţiei lui Bohr asupra mecanicii cuantice"[1], în partea pe care o consacră problemei aparatului.

V. A. Fok distinge în aparat următoarele elemente: „partea lucrătoare", adică partea din aparat în care se produce fenomenul, „partea înregistrătoare", adică cea în care fenomenul este înregistrat, şi „partea preparatoare", adică cea care „fixează starea obiectului înainte ca el să ajungă în partea lucrătoare". Fok atrage atenţia asupra faptului că partea preparatoare şi cea lucrătoare „pot fi realizate de la sine", întrucît fenomenul se poate produce şi în condiţii naturale, şi numai partea înregistrătoare cere, în general, un dispozitiv special[2].

[1] Vezi V. A. Fok, UFN, vol. XLV, fasc. 1. 1951.
[2] Vezi *ibidem*, p. 7.



Nu putem fi decît de acord, în multe privinţe, cu aceste afirmaţii ale lui Fok, cu atît mai mult cu cît el arată, în mod just, că „măsurarea propriu-zisă nu reprezintă decît ultimul stadiu al efectuării experimentului"[1]. Însă un punct esenţial al concepţiei complementarităţii nu a fost supus criticii în articolul lui Fok şi aceasta a influenţat părerile exprimate de el despre aparat.

În conformitate cu subdividerea instalaţiei experimentale în părţile preparatoare, lucrătoare şi înregistrătoare, Fok subdivide experimentul în stadiul iniţial (prepararea obiectului), stadiul intermediar (cînd obiectul preparat într-un anumit mod se află în condiţii exterioare fixate) şi stadiul final (măsurarea propriu-zisă). El scrie mai departe: „Prepararea obiectului şi rezultatul măsurării trebuie să fie descrise în limbajul fizicii clasice", iar stadiul intermediar, căruia îi este aplicabilă ecuaţia undelor, — în limbajul mecanicii cuantice[2]. Cum consideră Fok relaţia acestor stadii ale experimentului cu realitatea obiectivă, reiese din următoarele: „Rezultatul . . . ultimei etape a măsurării, legată de interacţia obiectului cu partea înregistrătoare a aparatului de măsură, trebuie . . . să fie descris în limbajul fizicii clasice, probabilitatea unui anumit rezultat calculîndu-se după formulele mecanicii cuantice"[3].

Toate aceste afirmaţii ale lui Fok subliniază necesitatea de a folosi, atunci cînd este vorba de măsurătorile în mecanica cuantică, noţiunile fizicii clasice şi, în acest punct, Fok nu se deosebeşte de Bohr. În acelaşi timp, V. A. Fok analizează critic concepţiile lui Bohr asupra mecanicii cuantice şi această critică prezintă un interes deosebit.

Fok vede principala eroare fizică a lui Bohr în faptul că el ignorează „stadiul intermediar al experimentului", dorind să reducă prin aceasta experimentul la „preparare şi măsurare, care se descriu în limbajul fizicii clasice, luîndu-se doar în consideraţie relaţia de nedeterminare. El subapreciază, prin aceasta, rolul mecanicii cuantice (lăsîndu-i numai o anumită semnificaţie simbolică) şi supraapreciază importanţa relaţiei de nedeterminare. În realitate, această relaţie limitează aplicabilitatea mecanicii clasice, dar nu spune nimic despre esenţa mecanicii cuantice"[4].

În primul rînd, Bohr nu ignorează, pur şi simplu, „stadiul intermediar al experimentului". El leagă totuşi „stadiul inter-

[1] V. A. Fok, UFN, vol. XLV, fasc. 1, 1951, p. 11.
[2] *Ibidem*, p. 12.
[3] *Ibidem*, p. 7.
[4] *Ibidem*, p. 13.

mediar" şi „procesul de măsurare", măcar prin aceea că atribuie simbolurilor mecanicii cuantice interpretarea sa fizică. De fapt, acest lucru îl afirmă şi Fok, atunci cînd scrie, de exemplu, că probabilitatea unui anumit rezultat al măsurării se calculează pe baza formulelor mecanicii cuantice, însă în cazul de faţă, trebuie să menţionăm o deosebire esenţială între afirmaţiile lui Bohr şi ale lui Fok. După Bohr, trebuie să mergem de la relaţia de nedeterminare, în interpretarea concepţiei complementarităţii, la schema matematică a mecanicii cuantice, în timp ce, după Fok, trebuie să mergem de la schema matematică a mecanicii cuantice la relaţia de nedeterminare.

În al doilea rînd, în unele dintre consideraţiile sale, V. A. Fok pune clar în evidenţă caracterul obiectiv al măsurătorilor în mecanica cuantică. În privinţa difracţiei electronilor („stadiul intermediar"), el subliniază că, dacă există o reţea cristalină prin care trec electronii, difracţia va avea loc „independent de felul în care este înregistrată imaginea de difracţie şi de faptul dacă ea se înregistrează"[1] şi nu putem fi decît de acord cu aceasta. Însă Fok vorbeşte despre „stadiul iniţial" ca şi cum aparatul ar „prepara" obiectul, acest „stadiu al experimentului" este descris „în mod clasic" etc., adică în fond, ca şi cum ansamblul cuantic pur ar exista numai în legătură cu măsurarea sa etc. Aceste afirmaţii seamănă cu afirmaţiile lui Bohr.

În al treilea rînd, nu putem să nu fim de acord cu afirmaţia lui Fok că relaţia de nedeterminare, dacă înţelegem prin ea principiul nedeterminării, nu ne spune nimic despre esenţa mecanicii cuantice: am analizat amănunţit această problemă în cap. II. Dacă este însă vorba de relaţia de nedeterminare ca atare, ea exprimă o deosebire radicală a ansamblului cuantic de ansamblul clasic, exprimă o particularitate caracteristică a ansamblului cuantic, indicînd prin aceasta esenţa mecanicii cuantice.

Aceasta este problema condiţiilor realizate în experiment.

De dispozitivul experimental dezvoltat, în afară de elementele examinate mai sus, mai ţin şi condiţiile materiale necesare pentru ca procesul de cercetare să se poată realiza în genere. Ele nu intervin direct în cercetare, însă fără ele, aceasta este sau imposibilă, sau poate fi realizată numai sub o formă imperfectă. O astfel de condiţie materială este lumina, ca o verigă care leagă aparatul-fixator şi ochiul observatorului, sau, în cazul mai general, fenomenul cercetat şi aparatul.

[1] V. A. Fok, UFN, vol. XLV, fasc. 1, 1951, p. 6.



Drept exemplu pentru o astfel de condiţie materială mai poate servi şi Pămîntul, ca sistemul material în care se află experimentatorul cu toate instalaţiile experimentale.

În rîndul aceloraşi condiţii experimentale, trebuie să trecem şi faptul, comun pentru toate aparatele, că fenomenele din aparat, pe baza cărora ne facem o idee despre obiectele cercetate, sînt percepute de om şi că dintre organele de simţ în această percepere îi revine primul rol ochiului.

În producţie, în activitatea practică a oamenilor, se află rădăcinile faptului că legile fenomenelor macroscopice au devenit cunoscute omului înaintea legilor microfenomenelor. Prin aceasta se explică faptul că fenomenele din aparat sînt, în ultimă instanţă, fenomene macroscopice şi că, în acest sens, aparatele reprezintă corpuri macroscopice, sînt aparate macroscopice.

Aparatele nu sînt dispozitive macroscopice decît în sensul indicat acum. Nu putem fi de acord cu ideea că aparatele trebuie să fie şi sînt dispozitive macroscopice în virtutea particularităţilor biologice ale omului, de exemplu, în virtutea faptului că organele sale de simţ funcţionează ca aparate macroscopice. Aparatele prin intermediul cărora omul depăşeşte limitarea organelor sale de simţ funcţionează „la ieşire" macroscopic, ceea ce percepe omul. Acest fapt nu înseamnă însă de loc că omul este obligat să privească toate fenomenele fizice prin prisma noţiunilor „macroscopice".

Ce justificare pot prezenta apărătorii concepţiei dogmatice, după care fenomenele ce se produc în aparat şi pe baza cărora ne facem o idee despre fenomenele cercetate trebuie să fie fenomene macroscopice? Cunosc ei oare şi toate aparatele viitoare? În experimentele vizuale ale lui S. I. Vavilov, ochiul, aflat în anumite condiţii speciale, reacţionează direct la un număr mic de fotoni şi deci percepe fenomene la scara atomică. De altfel, apărătorii concepţiei că toate aparatele sînt identice, în sensul caracterului lor „macroscopic" indicat, fac referiri la mecanica cuantică. În cazul de faţă, ei afirmă chiar că aparatul nu trebuie să fie atît macroscopic, cît „un dispozitiv clasic", adică un dispozitiv ale cărui proprietăţi utilizate nu admit decît o „descriere clasică". Însă după cum am stabilit mai sus, din mecanica cuantică nu rezultă nicidecum că aparatul trebuie să fie şi este întotdeauna un dispozitiv macroscopic, „clasic". Această concluzie nu rezultă decît din concepţia complementarităţii. Pentru ca aparatul să-şi îndeplinească rolul în procesul de cercetare a fenomenelor, nu sînt esenţiale noţiunile referitoare la aparatele de măsură, nu este

esențial faptul că indicațiile percepute ale aparatului trebuie să fie numai macroscopice, sau, să zicem, numai mecanice sau, să admitem, numai fenomene optice. În cazul de față, importă altceva, și anume faptul că, pentru a emite aprecieri referitoare la fenomenele studiate pe baza indicațiilor percepute ale aparatului, este folosită o anumită teorie; teoria la care recurgem nu stă pe loc, ci progresează pe baza practicii noi și a științei în dezvoltare, care, în același timp, perfecționează aparatele vechi și creează aparate noi.

În încheiere, în legătură cu pretinsul rol „deosebit" al aparatului în mecanica cuantică, să ne oprim la unele afirmații ale lui E. V. Șpolski, din cartea sa „Fizica atomică". Pe de o parte, Șpolski afirmă — în mod absolut corect — că electronul, prin însăși natura sa, este un obiect căruia nu-i este proprie caracteristica clasică a stării. Pe de altă parte, el scrie: „Avem, totuși, motive temeinice pentru a căuta să descriem comportarea electronului în termenii mecanicii clasice". Șpolski vede acest motiv în faptul că noi punem problema desfășurării unui proces obiectiv în spațiu și în timp, „utilizînd, în ultimă instanță, instalații care sînt corpuri macroscopice"[1]. Șpolski rezumă: „Se înțelege de la sine că și comportarea microparticulelor studiate trebuie să fie reprezentată în același sistem de referință spațio-temporal, folosind aceleași noțiuni de mecanică clasică cu ajutorul cărora descriem instalația noastră macroscopică"[2]. Astfel, după părerea lui Șpolski, relația de nedeterminare indică limita de aplicabilitate a descrierii clasice.

Așadar, după Șpolski, utilizarea noțiunilor clasice este o trăsătură caracteristică a mecanicii cuantice, iar necesitatea acestei utilizări este determinată de faptul că aparatul este un sistem macroscopic.

Nu putem fi de acord cu afirmațiile lui E. V. Șpolski. Aceasta rezultă din cele spuse mai sus despre rolul aparatului în mecanica cuantică. Subliniem aici că el vede semnificația relației de nedeterminare în faptul că această relație limitează aplicabilitatea noțiunilor mecanicii clasice la cazul microparticulelor, și atît. După cum am arătat în cap. II, o astfel de tratare a relației de nedeterminare lasă în umbră conținutul ei pozitiv.

Acestea sînt problemele legate de rolul aparatului în cercetarea fenomenelor fizice.

[1] E. V. Șpolski, *Fizica atomică*, vol. I, p. 379.
[2] *Ibidem.*



*CAPITOLUL V*

## DETERMINISMUL ȘI MECANICA CUANTICĂ

Observația empirică singură nu poate servi la fundarea ideii de cauzalitate, a ideii că un fenomen este cauza unui alt fenomen, că un fenomen generează în mod necesar un alt fenomen. După cum afirmă materialismul dialectic, fundamentul acestei reprezentări este activitatea omului, experiența, munca. Desigur, din observația că după un fenomen din natură urmează un alt fenomen din natură, putea să apară ideea legăturii lor cauzală; însă după cum a subliniat Engels, această idee nu a putut fi motivată decît prin activitatea omului: „... Dacă pot *produce* un *post hoc*, — scrie Engels, — el devine identic cu *propter hoc*"[1] și încă: „... dovada necesității se află în activitatea omenească, în experiență, în muncă..."[2].

Dezvoltarea producției, a priceperii omului să modifice natura determină dezvoltarea științelor naturii și, în mod corespunzător, în ultima instanță, a filozofiei cu noțiunile ei, printre care și noțiunea de cauzalitate.

Pentru apariția cercetării științifice sistematice a naturii și, în primul rînd, a mecanicii, a jucat un rol important tehnica manufacturii, folosirea mașinilor și a mecanismelor, în perioada apariției capitalismului. Folosirea sporadică a mașinilor — scrie Marx, în „Capitalul" — capătă o foarte mare importanță în secolul al XVII-lea, întrucît le oferea marilor matematicieni ai timpului puncte de sprijin practice și stimulente pentru crearea mecanicii moderne[3]. În perioada manufacturieră a dezvoltării capitalismului, deși existau elemente tehnice ale marii industrii,

[1] F. Engels, *Dialectica naturii*, E.S.P.L.P., p. 233.
[2] *Ibidem.*
[3] Vezi K. Marx, *Capitalul*, vol. I, Ed. P.M.R., p. 327.

sistemul mașinilor nu putea să capete o dezvoltare liberă de restricții, atîta timp cît mașinile erau puse în mișcare de forța animalelor, a vîntului sau a apei. După cum arată Marx, sistemul mașinilor a ajuns la o dezvoltare liberă, o dată cu descoperirea mașinii cu vapori, și această invenție corespunde sfîrșitului perioadei manufacturiere și începutului perioadei mașiniste în dezvoltarea capitalismului.

Intemeietorii științei fizice — Galilei și Newton, și filozoful Descartes, care a făcut mult pentru studiul științific al naturii — au privit natura prin prisma perioadei manufacturiere. De exemplu, Descartes spune clar că se poate găsi o filozofie practică, cu ajutorul căreia, „cunoscînd forța și acțiunea focului, a apei, a aerului, a aștrilor, a cerurilor și a tuturor celorlalte corpuri care ne înconjură, tot atît de distinct cum cunoaștem diferitele meserii ale meșteșugarilor noștri, le-am putea da în același chip toate întrebuințările pentru care se potrivesc, devenind, în modul acesta, întrucîtva stăpîni și posesori ai naturii"[1].

Concepțiile teoretice ale științei naturii, dezvoltate în perioada manufacturieră, corespundeau nivelului de dezvoltare al mijloacelor de muncă cu ajutorul cărora omul transforma natura. Este firesc că, în secolele XVI—XVIII, cînd nu existau încă marea industria chimică, tehnica aburului și aplicarea industrială a electricității, știința care s-a dezvoltat cel mai intens dintre toate științele naturii era teoria mișcărilor relativ lente ale corpurilor macroscopice sau, cum a început să fie numită în timpul nostru, mecanica clasică; spre sfîrșitul perioadei manufacturiere, ea a căpătat o anumită desăvîrșire. În concordanță cu științele naturii de atunci, s-a dezvoltat și filozofia înaintată din acea perioadă — materialismul mecanicist sau mecanist — care și-a găsit expresia cea mai completă în materialismul francez din secolul XVIII. În aceeași perioadă, s-a formulat și acea înțelegere a determinismului pe care Engels a numit-o determinismul mecanic; oamenii de știință avansați de atunci considerau că natura, întreaga lume este o imensă mașină, care se mișcă după legile mecanicii.

Ideea determinismului mecanic a fost formulată clar la începutul secolului XIX, de către savantul francez Laplace. Sînt adesea citate cuvintele sale: „Un intelect care ar cunoaște la un moment dat toate forțele care acționează în natura și poziția corespunzătoare a corpurilor care o formează și care, în plus, ar fi destul de vast încît să poată supune analizei aceste date, ar cu-

[1] R. Descartes, *Discurs asupra metodei*, ES, București, 1957, p. 89.



prinde într-o formulă unică atît mișcarea celor mai mari corpuri din Univers, cît și cea a atomilor celor mai ușori, și nimic nu ar rămîne pentru el nedeterminat: viitorul ca și trecutul ar fi prezente în fața privirii sale"[1].

Ducînd lupta împotriva idealismului și a teleologiei, care negau legăturile necesare, regulate ale fenomenelor din natură, materialismul mecanicist din secolul XVIII se baza, în conformitate cu starea științei timpului, pe mecanica clasică. Ce e drept, la Newton, care a extins legile mecanicii sale la întregul Univers, figura un „impuls divin" inițial, însă gînditorii francezi din secolul XVIII, care au popularizat ideile fizicii lui Newton pe continent, și savanții progresiști din perioada revoluției burgheze franceze din secolul XVIII au adus o contribuție însemnată la eliberarea fizicii de adaosurile teologice ale fondatorului ei. S-a păstrat o anecdotă, după care, la întrebarea lui Napoleon Bonaparte, pusă lui Laplace: de ce în scrierea sa „Sistemul lumii" nu se spune nimic despre dumnezeu, savantul ar fi răspuns cu mîndrie: „Nu am avut nevoie de această ipoteză"; independent de adevărul ei, această anecdotă redă foarte bine spiritul operelor lui Laplace. Deosebit de importantă pentru întărirea și dezvoltarea concepției materialiste despre lume în știință este activitatea genialului Lomonosov, unul dintre fondatorii cercetării științifice sistematice a naturii. Depășind deficiențele fizicii newtoniene și cartesiene și dezvoltînd părțile lor cele mai bune, Lomonosov a făcut să progreseze în mod considerabil știința fizică. În această privință, rolul cel mai important l-au jucat ideile atomiste ale lui Lomonosov și legea conservării materiei și a mișcării, descoperită de el și care era străină newtonienilor. Emițînd ideea unității naturii, a legilor ei, ideea dezvoltării naturii, fizica lui Lomonosov a făcut prima spărtură în concepția metafizică asupra naturii și a anticipat, într-o seamă de cazuri, realizările fizicii din secolul XIX.

Fiind baza filozofică a ideilor științifice ale oamenilor de știință progresiști din perioada apariției și a înfloririi fizicii clasice, materialismul mecanist a avut, în perioada respectivă, un rol progresist. Această valoare progresistă a fost determinată de faptul că materialismul mecanicist recunoaștea existența obiectivă a naturii și a legilor ei, caracterul primar al materiei și caracterul secund al conștiinței, cognoscibilitatea lumii materiale.

[1] P. Laplace, *Incercare filozofică asupra probabilităților*, M. 1908, p. 9.

De aici a rezultat recunoaşterea de către materialismul mecanicist a cauzalităţii obiective, a legităţii, a necesităţii, reflectate de reprezentările omeneşti despre ele. Totodată însă, materialismul mecanicist este un materialism mărginit. Această mărginire se exprimă în incapacitatea de a înţelege natura ca fiind materia în dezvoltare, în reducerea diverselor forme de mişcare la mişcarea mecanică, în nepriceperea de a considera cunoaşterea naturii ca o dezvoltare infinită de la ignoranţă la cunoaştere, de la cunoaşterea mai puţin profundă la cunoaşterea mai profundă. Mărginirea materialismului mecanicist se manifestă şi în determinismul mecanicist.

Predominarea ideilor materialismului mecanicist în fizică în genere şi în mecanică în particular (secolul XVI—jumătatea secolului XIX) era subminată de însăşi dezvoltarea fizicii şi a mecanicii. În perioada maşinistă din dezvoltarea lui, capitalismul nu numai că a contribuit la progresul acelor ramuri din industrie şi tehnică care înainte erau într-o stare embrionară, dar a dat naştere şi unor noi forme de industrie şi de tehnică: electrotehnica, industria chimică şi producţia fabricatelor sintetice, aviaţia, radiotehnica etc.; fizica şi mecanica îşi datorează dezvoltarea impetuoasă din secolul XX noilor forme de producţie, pe care nimeni dintre cercetătorii secolului XIX nici măcar nu şi le închipuia.

Pe măsura dezvoltării ştiinţelor naturii şi, în particular, a fizicii, a ieşit la iveală mărginirea şi unilateralitatea materialismului mecanicist care, la jumătatea secolului XIX, după cum a arătat Engels, s-a transformat într-o frînă a progresului ştiinţei. Inaplicabilitatea concepţiei mecaniciste la înţelegerea filozofică a problemelor apariţiei şi dezvoltării fenomenelor din natură a ieşit în evidenţă foarte clar la hotarul secolelor XIX şi XX, în urma descoperirii electronilor, a radioactivităţii, a structurii complexe a atomului etc. Naufragiul materialismului mecanicist în noua fizică a fost prezentat de idealişti drept un faliment al materialismului în genere. Răspunsul care li se cuvenea a fost dat de V. I. Lenin, în cartea „Materialism şi empiriocriticism", în care au fost sintetizate în mod materialist realizările fizicii din perioada 1895—1908 şi distruse toate construcţiile idealiştilor, care căutau să profite de noile descoperiri pentru întemeierea teoriilor filozofice reacţionare.

Principala trăsătură a dezvoltării fizicii, începînd cu sfîrşitul secolului XIX, stă în progresul ei fără precedent, în răsturnarea revoluţionară a vechilor principii şi teze fundamentale, răsturnare atît de profundă încît ştiinţele naturii nu mai pot ocoli



concluziile filozofice. Aceste concluzii au încercat să le tragă empiriocriticiştii şi alţi pozitivişti, iar în zilele noastre, această sarcină încearcă să şi-o asume pozitiviştii logici şi alţi urmaşi ai empiriocriticismului; folosind incapacitatea filozofică a multor fizicieni, ei dau ştiinţa pe mîna idealismului reacţionar. Răspunsurile corecte la problemele filozofice pe care le-a pus şi le pune revoluţia modernă în fizică le poate da şi le dă numai materialismul dialectic, singura filozofie ştiinţifică din epoca noastră. Acest lucru a fost arătat în mod deosebit de viu în operele filozofice ale lui V. I. Lenin, şi acest lucru îl confirmă întreaga dezvoltare a fizicii moderne.

Lupta dintre materialism şi idealism în fizica modernă şi-a găsit expresia şi în problema cauzalităţii, care ocupă un loc de cea mai mare importanţă în discuţiile asupra mecanicii cuantice.

## 1. Determinismul mecanicist şi mecanica cuantică

În perioada dezvoltării fizicii clasice, s-a răspîndit punctul de vedere mecanicist, după care substanţa este în fond discretă, discontinuă, reducîndu-se la o mulţime de particule separate. Teoria structurii discrete a substanţei şi-a găsit o expresie caracteristică în atomistica lui Newton şi în atomistica lui Lomonosov. După Newton, „dumnezeu a dat la început materiei forma unor particule mobile, solide, masive, impermeabile, de dimensiuni, figuri, proprietăţi şi proporţii în raportul lor cu spaţiul care să fie cele mai adecvate scopului pentru care le-a creat"[1]. Deşi atomistica lui Newton a anticipat multe din dezvoltarea ulterioară a teoriei materiei[2], la Newton atomistica nu servea încă drept instrument de cercetare ştiinţifică. Altfel se prezintă problema atomisticii în fizica lui Lomonosov. Spre deosebire de Newton, marele om de ştiinţă rus elimină pe dumnezeu din „filozofia naturală" (cum numea Newton fizica). Atomistica sa este organic legată de legea conservării materiei, descoperită de el. „Filozofia corpusculară" fertilizează prin ideile ei cercetările lui Lomonosov; fondatorul atomismului ştiinţific creează teoria molecular-cinetică şi schiţează prima explicaţie fizică a fenomenelor termice.

Pentru concepţia mecanicistă despre lume, era natural să extindă legile mecanicii asupra mişcării materiei în ansamblul ei,

[1] I. Newton, *Optica*, traducerea lui S. I. Vavilov, M.—L., 1927, p. 311.

[2] Vezi, în legătură cu aceasta, excelentul articol al lui S. I. Vavilov, „Atomismul lui Newton", UFN, vol. XXXI, fasc. 1, 1947.

asupra mişcării corpurilor cu diferite grade de complexitate. Aici prezintă iarăşi un interes deosebit ideile lui Lomonosov, care renunţă la interpretarea dată forţei de către newtonieni, ca principiu care acţionează la distanţă, şi duce o luptă împotriva aspectelor unilaterale, incorecte ale dinamismului newtonienilor şi ale cinetismului cartesienilor, criticîndu-i pe aceştia din urmă pentru „penele, acele, cîrligele, inelele, bulele şi alte numeroase figuri de particule, născute în mintea lor fără nici un fel de justificare"[1].

Evoluţia fizicii a confirmat ideile lui Newton şi Lomonosov, că corpurile percepute de simţurile noastre sînt alcătuite din corpuri de dimensiuni mai mici, acestea fiind formate, la rîndul lor, din corpuri şi mai mici etc. (aşa-zicînd un sistem în scară al structurii materiei). În momentul cînd Lenin scria „Materialism şi empiriocriticism", realitatea atomilor şi a moleculelor fusese demonstrată de fizică şi substanţa apărea ca fiind formată, în ultimă instanţă, din particule încărcate electric, pozitive şi negative.

Dacă mecanica clasică a servit foarte bine la studiul mişcării corpurilor cereşti, ce motive puteau pleda împotriva aplicării ei la mişcarea corpurilor microscopice? O astfel de aplicare s-a justificat în domeniul agitaţiei moleculare, al fenomenelor termice. Teoria cinetică clasică a materiei a înregistrat realizări serioase, legînd de mecanica clasică anumite principii statistice (vom reveni mai tîrziu la această problemă), însă descoperirea fenomenelor cuantice ale radiaţiei, iar apoi a proprietăţilor ondulatorii ale substanţei nu se încadra în concepţiile mecanicii clasice asupra mişcării, iar principiile fundamentale corespunzătoare ale mecanicii clasice au fost reconsiderate şi înlocuite cu altele noi. Idealismul a încercat să prezinte această revoluţie drept lichidare a determinismului în fizică, drept o confirmare a indeterminismului, cu recunoaşterea antiştiinţifică a unui hazard lipsit de cauzalitate.

Pentru a lămuri situaţia, să ne oprim pe scurt asupra unor trăsături ale determinismului mecanicist.

În primul rînd, determinismul mecanicist presupune negarea treptelor calitativ diferite în dezvoltarea materiei unice. În conformitate cu această concepţie metafizică, mecanicismul transpune în mod nejustificat, fără analiza necesară, concepţiile fizice aplicate într-un domeniu de cercetare (de exemplu, în domeniul fenomenelor macroscopice), la un alt domeniu de cercetare (de

[1] M. Lomonosov, *Izbrannîe filosofskie socineniia*, 1940, p. 194.



exemplu, domeniul fenomenelor atomice). Determinismul mecanicist presupune recunoaşterea mişcării mecanice, a deplasării particulelor macroscopice în spaţiu şi în timp drept formă de mişcare la care se reduc toate celelalte. Noţiunile care oglindesc mişcarea mecanică (corpuscul, punct material, viteza şi coordonata sa, traiectoria punctului în mişcare etc.) reprezintă, în conformitate cu mecanicismul, noţiuni universale, aplicabile în mod automat în toate domeniile ştiinţei fizice.

În al doilea rînd, înţelegerea mecanicistă a legăturii necesare dintre fenomenele fizice presupune, alături de recunoaşterea caracterului pur discontinuu al materiei, recunoaşterea ideii că mişcarea, transformarea sînt, în ultima analiză, numai continue. În conformitate cu aceasta, mişcarea este privită ca ceva exterior în raport cu materia, iar ecuaţiile care reprezintă matematic legile fizicii sînt ecuaţii diferenţiale în care figurează mărimi continue, „obişnuite".

În al treilea rînd, determinismul mecanicist înseamnă recunoaşterea faptului că în natură ar domina numai necesitatea simplă, directă, şi deci negarea întîmplării. „Nici cu acest fel de necesitate — scria Engels — nu vom putea ieşi din cadrul concepţiei teologice a naturii. Pentru ştiinţă e perfect indiferent dacă vom numi aceasta, ca sfîntul Augustin şi Calvin, voia lui dumnezeu, ca turcii, kismet, sau dacă o vom numi necesitate. În nici unul din aceste cazuri, nici vorbă nu e de a urmări înlănţuirea cauzală . . . Aşa-numita necesitate rămîne o vorbă goală, iar o dată cu ea întîmplarea rămîne şi ea ce a fost . . . Deci întîmplarea nu este aici explicată prin necesitate: mai curînd necesitatea este redusă la rangul de producătoare de simplă întîmplare"[1]. Această înţelegere a necesităţii şi întîmplării îşi găseşte expresia în interpretarea dată legilor statistice de către fizicienii care se situează, într-un fel sau altul, pe poziţiile materialismului mecanicist (vezi, de exemplu, Laplace, „Încercare filozofică asupra probabilităţilor").

Determinismul mecanicist în fizică înseamnă universalizarea legilor mecanicii clasice, transpunerea noţiunilor şi principiilor fizicii clasice dincolo de limitele lor de aplicabilitate. În anumite condiţii, noţiunile de ordine, legitate, legătură cauzală pot fi exprimate printr-o anumită relaţie matematică. Acest lucru îl face, în felul ei, mecanica clasică, în care se afirmă: forţele care acţionează asupra unui corp aflat într-o anumită stare de mişcare (ca-

[1] F. Engels, *Dialectica naturii*, E.S.P.L.P., p. 221.

racterizată prin valorile coordonatei şi impulsului, la un anumit moment) determină, în conformitate cu legile mecanicii, starea de mişcare a corpului în orice moment ulterior. De aceea, dacă sînt date forţele care acţionează asupra corpului şi aşa-numitele condiţii iniţiale (viteza iniţială şi coordonatele iniţiale), putem calcula viteza şi coordonatele corpului în mişcare, la orice moment ulterior (aşa-numitul determinism laplacian).

Aşadar, din punctul de vedere al materialismului mecanicist, noţiunile de ordine, legitate, cauzalitate pot fi exprimate, dacă este vorba de fizică, numai prin intermediul mărimilor şi al relaţiilor din mecanica clasică.

Experienţa şi teoria cuantică au arătat inaplicabilitatea în domeniul microfenomenelor a concepţiilor mecanicii clasice asupra corpusculului şi a stărilor lui. După cum am arătat mai sus, descoperirea proprietăţilor ondulatorii ale obiectelor atomice, care sînt legate în mod inseparabil de cele corpusculare, a dus la o situaţie în care noţiunile teoriei clasice cu privire la unde continue şi particule discontinue, care se exclud reciproc, cu privire la traiectoriile acestor particule etc. s-au dovedit absolut insuficiente pentru oglindirea fenomenelor cuantice.

Această prăbuşire a noţiunii de mişcare a fost folosită de filozofia idealistă. Idealismul a prezentat eşecul concepţiei mişcării din mecanica clasică drept o negare a cauzalităţii şi a legităţii în natură, drept o confirmare a tezei sale, că legile fizicii ar fi o pură convenţie.

În cazul de faţă, idealismul în general şi idealismul „fizic" în particular au ignorat deosebirea dintre materialismul metafizic şi cel dialectic. Materialismul metafizic recunoaşte adevăruri „eterne", date o dată pentru totdeauna, ale ştiinţei despre natură; de exemplu, Lagrange, considerînd mecanica lui Newton drept un adevăr imuabil, scria că „sistemul lumii nu poate fi stabilit decît o singură dată". Spre deosebire de materialismul metafizic, sublinia V. I. Lenin, „materialismul dialectic insistă însă asupra caracterului aproximativ, relativ al oricărei teze ştiinţifice asupra structurii materiei şi a însuşirilor ei, asupra inexistenţei unor hotare absolute în natură, asupra transformării materiei în mişcare dintr-o stare în alta, incompatibilă pe cît se pare, din punctul nostru de vedere, cu cea dintîi etc."[1]. Limitarea legilor mecanicii lui Newton la domeniul fenomenelor macroscopice şi subordonarea lor legilor mai profunde ale fenomenelor cuantice nu face decît să confirme

[1] V. I. Lenin, *Opere*, vol. 14, E.S.P.L.P., p. 255.



materialismul dialectic. După cum legile mişcării materiei nu se reduc la legile mişcării din mecanica clasică, tot astfel şi noţiunea de cauzalitate, de necesitate, de lege în natură nu se reduce la concepţiile mecaniciste despre cauzalitate, necesitate, lege.

Oare în adevăr să fi distrus fizica modernă legitatea, necesitatea, cauzalitatea în natură, după cum afirmă idealiştii actuali?

Idealismul contemporan, căutînd să sprijine prin datele cele mai noi ale ştiinţei linia sa ostilă materialismului în problema cauzalităţii, se referă, de obicei, la relaţia de nedeterminare din mecanica cuantică; în adevăr, dacă ar fi să privim relaţia de nedeterminare în spiritul concepţiei complementarităţii, şi s-o ridicăm, după Heisenberg, la rangul unui principiu al nedeterminării, pe care s-ar întemeia mecanica cuantică, atunci idealismul ar căpăta o nouă argumentaţie, sprijinită pe „ştiinţă", pentru negarea cauzalităţii în natură. Astfel, dacă, după Laplace, determinismul presupune posibilitatea determinării simultane oricît de exacte a coordonatei si a impulsului unui corp, în timp ce principiul nedeterminării neagă această posibilitate, s-ar părea că de aici rezultă că mecanica cuantică ar exclude determinismul. Însă în primul rînd relaţia de nedeterminare din mecanica cuantică nu este principiul nedeterminării şi, în al doilea rînd „determinismul laplacian" nu înseamnă încă principiul determinismului.

Însăşi punerea problemei aplicabilităţii determinismului laplacian la cazul unui microobiect este nejustificată, deoarece acest determinism nu se referă decît la obiecte studiate de mecanica clasică, pe cînd microobiectele, care au în acelaşi timp proprietăţi corpusculare şi ondulatorii, nu sînt nicidecum astfel de obiecte.

Aşadar, referirea idealismului modern la mecanica cuantică cu relaţia ei de nedeterminare, făcută în scopul confirmării indeterminismului, este lipsită de orice temei ştiinţific. Mecanica cuantică cu legile ei, printre care primul loc îl ocupă ecuaţia de undă a lui Schrödinger, reflectă microprocese reale, reflectă legi obiective care exprimă legături esenţiale, necesare între fenomenele cuantice. Dacă situaţia s-ar prezenta altfel, atunci, în mecanica cuantică, valoarea funcţiei de undă, calculată în conformitate cu ecuaţia undelor, pe baza unei anumite valori iniţiale (pentru momentul $t=0$) a funcţiei de undă, nu ar fi confirmată de experienţă şi nu ar fi confirmate de experienţă nici celelalte legi şi relaţii ale mecanicii cuantice.

Să examinăm unele aspecte ale problemei cauzalităţii în fizică şi, în particular, în mecanica cuantică. Mulţi fizicieni — materialişti sau idealişti prin concepţiile lor filozofice — înţeleg prin

legea sau principiul cauzalității în fizică legătura necesară a stării sistemului la momentul inițial cu starea sistemului la orice alt moment, ulterior. Din acest punct de vedere, principiul cauzalității este verificat în mecanica cuantică, datorită faptului că în ea este realizată condiția ca, pe baza cunoașterii exacte a stării sistemului la un anumit moment, să poată fi determinată exact starea sa la orice moment ulterior.

Însă o astfel de înțelegere a principiului cauzalității înseamnă, în realitate, o identificare greșită a noțiunii de cauzalitate cu ideea de conexiune și condiționare reciprocă a fenomenelor din natură. După cum se știe, principiul cauzalității nu spune decît că, în anumite condiții, un fenomen (cauza) generează în mod necesar un alt fenomen (efectul sau consecința). Pentru a înțelege un fenomen sub aspectul raportului său cauzal, facem abstracție de legătura sa cu ansamblul universului și îl considerăm izolat. Prin urmare, cauza și efectul nu sînt decît momente din conexiunea universală a fenomenelor; varietatea legăturilor necesare nu se reduce numai la legătura cauzală, adică la legătura dintre cauză și efect; cauzalitatea, după cum indică Lenin, „este numai o mică părticică a legăturii universale"[1].

În mecanica clasică, de exemplu în cazul mișcării rectilinii și uniforme, modificarea poziției corpului, la un anumit moment, nu este rezultatul acțiunii unei forțe: legea inerției exprimă direct legătura dintre fenomenele mișcării rectilinii și uniforme; de aceea, pe baza legii inerției, cunoscînd poziția și viteza inițială ale unui corp care se mișcă rectiliniu și uniform, îi putem calcula poziția la orice alt moment. În cazul mișcării neuniforme, variația vitezei corpului care se mișcă este rezultatul acțiunii unei forțe, care apare, în cazul de față, în rolul de cauză: a doua lege a lui Newton exprimă această legătură cauzală. Însă în mecanica clasică, starea de mișcare a unui corp la un anumit moment nu este cauza stării corpului într-un moment ulterior; dacă, pe baza stării inițiale, putem calcula orice altă stare, acest fapt nu ne spune decît că stările de mișcare ale corpului sînt legate între ele și că această legătură este o lege a fenomenelor mecanice, pe care o exprimă legile lui Newton.

În mod analog, și în mecanica cuantică, dacă, în conformitate cu ecuația undelor, putem calcula valoarea funcției de undă la un moment arbitrar, în ipoteza că-i cunoaștem valoarea inițială, aceasta nu înseamnă decît că legătura pe care a stabilit-o mecanica cuantică între valorile funcției de undă la diferite momente este o lege a fenomenelor cuantice, pe care o exprimă ecuația undelor.

[1] V. I. Lenin, *Caiete filozofice*, E.S.P.L.P., p. 129.



Așadar, legile mecanicii clasice, legile mecanicii cuantice și alte legi ale fizicii, de exemplu legile teoriei cîmpului electromagnetic, exprimă toate, în domeniul respectiv de fenomene fizice, legătura necesară variată, obiectiv reală (prin urmare și legătura cauzală) a fenomenelor din natură. Rezultă că, în particular, indeterminismul în mecanica cuantică nu înseamnă numai negarea cauzalității propriu-zise în domeniul fenomenelor atomice, dar și negarea legăturii necesare, guvernate de legi, înseamnă recunoașterea că, în domeniul fenomenelor cuantice, ar domni întîmplarea pură.

Să comparăm cu aceste idei punctul de vedere asupra cauzalității în fizică, susținut de R. Mises, a cărui concepție a căpătat o mare răspîndire în literatura de fizică.

În articolul „Despre legea cauzală și cea statistică în fizică"[1], Mises vrea — ca să ne exprimăm ca el — să „netezească acea discordanță dintre cauzalitate și statistică, care străbate fizica modernă"[2]. El consideră că acest lucru va putea fi făcut, dacă vom ține seama de următoarele considerente: 1) „principiul cauzalității este variabil și subordonat cerințelor fizicii"[3]; 2) „este mai corect să denumim ... principiile clasice deterministe, iar teoria statistică, indeterminism"[4]; 3) „determinismul strict, atribuit de obicei fizicii clasice a ecuațiilor diferențiale, nu este decît aparent ... microfizica însă aduce cu ea un element statistic"[5]; 4) „după ce fizica ... își va însuși în întregime metoda statistică de raționament și de gîndire și o va recunoaște drept un mijloc auxiliar necesar pentru ea ... nimeni nu va mai avea impresia că aici ... nu este satisfăcută o anumită necesitate filozofică", printre care și necesitatea principiului cauzalității[6].

În ce măsură are dreptate Mises, atribuind fizicii indeterminismul, este o problemă pe care o vom examina ceva mai jos. Acum vom analiza problema dacă el are dreptul să se refere la

[1] UFN, vol. X. fasc. 4, 1930. Articolul lui Mises este o conferință ținută la al V-lea Congres al fizicienilor și matematicienilor germani de la Praga, la 16 septembrie 1929. După cum se știe, ideile lui Mises asupra problemei cauzalității în fizică nu s-au schimbat nici pînă astăzi.

[2] *Ibidem*, p. 462.

[3] *Ibidem*, p. 441.

[4] *Ibidem*, p. 442.

[5] *Ibidem*, p. 462.

[6] *Ibidem*, p. 441.

fizică, ca la o dovadă a concepţiilor sale subiectiviste asupra cauzalităţii. Pentru confirmarea concepţiilor sale, Mises foloseşte un exemplu din istoria fizicii, referitor la concepţiile despre mişcare şi forţă ale lui Aristotel şi la legea inerţiei. „Cînd Galilei — scrie Mises — a descoperit, pe cale de observaţie, legea inerţiei, concepţia de pe atunci asupra cauzalităţii era, desigur, în contradicţie cu faptul că o deplasare îndelungată se poate produce de la sine, fără vreo cauză care să continue a acţiona. Însă după ce generaţii de fizicieni au recunoscut legea inerţiei cu toate consecinţele ei drept o bază valabilă pentru descrierea sistematică a fenomenelor de mişcare, la aceasta s-a asociat şi modul de gîndire filozofic"[1].

Să analizăm acest exemplu istoric. În primul rînd, concepţiile lui Aristotel despre forţă şi mişcare nu erau concepţii ştiinţifice şi, în acest sens, ele erau asemănătoare cu concepţiile lui Ptolemeu despre Univers. Tocmai datorită acestui caracter „neştiinţific", ele n-au intrat, într-o formă sau alta, în dezvoltarea ulterioară a mecanicii şi a fizicii în general. Se ştie că noţiunile ştiinţifice, adică noţiunile care reflectă corect — nu în mod fantezist — realitatea obiectivă, intră într-o formă transformată şi precizată în noua teorie mai completă şi mai dezvoltată. Dezvoltarea istorică a fizicii a respins în întregime concepţiile lui Aristotel referitoare la mişcarea mecanică; de aceea, strict vorbind, Mises nu avea dreptul să se refere la ele. De altfel, ca pentru orice pozitivist, pentru Mises concepţiile, noţiunile, teoriile nu sînt decît invenţii ale omului, pentru ordonarea datelor de observaţie; de aceea, el este, în felul său, consecvent atunci cînd nu face de fapt distincţie, în ceea ce priveşte „caracterul ştiinţific", între concepţiile lui Aristotel şi ale lui Galilei-Newton.

În al doilea rînd, stabilirea de către Newton a legăturii dintre forţă şi variaţia vitezei a căpătat o valoare de adevăr obiectiv o dată cu dezvoltarea teoriei fizicii şi a experimentului fizic. Stabilirea de către Aristotel a legăturii dintre forţă şi viteză exprima, numai într-un mod exterior, aparent datele observaţiei nemijlocite, nu era legată de practică şi deci nu a putut căpăta şi nu a căpătat o valoare de adevăr obiectiv. În afară de aceasta, forţa nu poate fi identificată cu o cauză, aşa cum face Mises; nu putem defini forţa ca fiind o cauză. Noţiunea de forţă este o noţiune mecanică; în anumite condiţii, forţa serveşte drept cauză unui anumit fenomen mecanic, însă dacă ea serveşte sau nu drept cauză a unui fenomen mecanic dat — aceasta o decide, în ultimă instanţă, experienţa. Astfel, experienţa ne spune că forţa este cauza acceleraţiei sau că ea este cauza deformaţiei corpului, însă experienţa exclude posibilitatea apariţiei forţei drept cauză a schimbării poziţiei. Dacă, pe de o parte, forţa este, în anumite condiţii, cauza deformării unui corp, pe de altă parte, deformarea corpului este, în anumite condiţii, o cauză a forţei.

[1] R. Mises, UFN, vol. X, fasc. 4, 1930, p. 440.



Din cele spuse, reiese că Mises nu are dreptul să scrie: „... în principiul inerţiei, am renunţat, în cele din urmă, la cauza schimbării poziţiei, aşa cum o cerea concepţia naivă, şi ne mărginim numai la cauza pentru explicarea variaţiei vitezei"[1]. Dacă Mises ar fi scris: „am renunţat la forţă ca la o cauză" etc. atunci el ar fi avut dreptate. În realitate, variaţia poziţiei în cursul timpului — adică mişcarea mecanică — are o cauză. Această cauză nu este forţa, bineînţeles, ci o altă formă de mişcare, diferită de cea mecanică (căldura, electromagnetismul etc.), care generează, în anumite condiţii, mişcarea mecanică.

În legătură cu problema examinată, să ne oprim pe scurt la punctul de vedere al lui I. P. Terleţki asupra principiului cauzalităţii în fizică, expus în monografia sa „Legile dinamice şi legile statistice ale fizicii" (1950). Terleţki distinge legea generală a cauzalităţii şi două forme fundamentale ale manifestării ei în fizică: în primul rînd, determinismul clasic, înţeles „ca concepţia despre oglindirea completă a unui proces fizic într-un anumit ansamblu de mărimi perfect determinate la orice moment, dacă se dau condiţiile iniţiale", şi, în al doilea rînd, teza „că orice eveniment ulterior este întotdeauna o consecinţă a unor anumite evenimente premergătoare, cauze"[2].

După Terleţki, principiul general al cauzalităţii este exprimat „în existenţa unei legături şi condiţionări reciproce obiective a fenomenelor şi obiectelor"[3]. În realitate însă, ultima afirmaţie este teza conexiunii fenomenelor din natură, formulată în modul cel mai complet şi adînc de filozofia materialismului dialectic. Această teză nu poate fi numită teza sau principiul determinismului; în ea este cuprinsă teza cauzalităţii, adică teza pe care I. P. Terleţki o pune alături de ceea ce numeşte el „determinismul clasic" şi pe care o consideră doar drept o formă de manifestare a principiului cauzalităţii, iar nu drept principiul însuşi. În ceea ce priveşte

[1] R. Mises, UFN, vol. X, fasc. 4, 1930, p. 441.
[2] I. P. Terleţki, *Dinamiceskie i statisticeskie zakonî fiziki*, 1950, p. 93.
[3] *Ibidem*.

aserţiunea pe care I. P. Terleţki a denumit-o „determinismul clasic", ea reprezintă, în domeniile corespunzătoare ale fizicii, o expresie a principiului determinismului (iar nu a principiului cauzalităţii), după cum o expresie a principiului determinismului este şi afirmaţia mecanicii cuantice că valorile funcţiei de undă sînt legate între ele în timp, în conformitate cu ecuaţia undelor, lucru despre care am vorbit mai sus.

*
* *

Potrivit concepţiei complementarităţii, funcţia de undă (care este o caracteristică de probabilitate) şi relaţia de nedeterminare nu se referă la un ansamblu cuantic, ci la un microobiect individual, coordonat cu un aparat „clasic". De această interpretare subiectivistă a funcţiei de undă şi a relaţiei de nedeterminare este legată în mod necesar negarea determinismului în mecanica cuantică, recunoaşterea faptului că electronii nu ar fi supuşi decît întîmplării. În conformitate cu aceste concepţii, este dezvoltată concepţia idealistă (care presupune recunoaşterea indeterminismului) a legilor statistice, după care ele nu-şi găsesc întemeierea în necesitate, ci numai în întîmplare.

Astfel, se afirmă că statistica ar intra în mecanica cuantică datorită faptului că procesul de măsurare modifică în mod necontrolabil starea electronului măsurat; de aceea, comportarea electronului este în principiu statistică, adică, în conformitate cu concepţia complementarităţii, mecanica cuantică ar exclude în principiu orice comportare nestatistică a electronului individual. Aceasta este, după afirmaţiile adepţilor ideilor lui Bohr, semnificaţia domniei principiului indeterminismului în domeniul microfenomenelor. De altfel, idealiştii „fizici" confundă, de obicei determinismul şi cauzalitatea din fizică cu legea dinamică, iar legea statistică, cu indeterminismul. Acest lucru este folosit de scutierii filozofici ai reacţiunii imperialiste (de aici nu rezultă însă că dacă denunim „cauzalitatea strictă" drept o parte a unei „cauzalităţi statistice polivalente", am isprăvit prin aceasta cu indeterminismul idealiştilor „fizici").

Aşadar, după părerea şcolii de la Copenhaga, indeterminismul este propriu microfenomenelor, datorită faptului că ar exista necontrolabilitatea, că microobiectul ar fi coordonat principial cu aparatul etc. „Descrierea noastră obişnuită a naturii — scrie Heisenberg — şi, în particular, ideea de lege riguroasă în procesele din natură se bazează, în realitate, pe ipoteza că fenomenele pot fi observate fără să exercităm asupra lor o influenţă perceptibilă.



Are sens să raportăm un anumit efect la o anumită cauză, numai atunci cînd putem observa efectele şi cauzele, fără să efectuăm concomitent o acţiune perturbatoare"[1].

Cu alte cuvinte, dacă aparatul influenţează în mod necontrolabil obiectul, efectul observat poate avea drept sursă nu obiectul ca atare, ci influenţa „miraculoasă", necunoscută nouă a aparatului, adică, după Heisenberg, cauzalitatea în domeniul microfenomenelor ar cădea, din pricină că starea unui microobiect este o categorie instrumentală. Trebuie să-i recunoaştem lui Heisenberg o anumită consecvenţă: cauzalitatea este legată de existenţa obiectivă a stării, iar starea electronului este o categorie instrumentală; deci nu există cauzalitate. Pe de altă parte, în conformitate cu principiul complementarităţii, putem „salva" cauzalitatea pentru microfenomene, recunoscînd însă că această cauzalitate acţionează în afara spaţiului şi a timpului[2]. Însă prin ce se deosebeşte atunci „cauzalitatea" extraspaţială şi extratemporală de lipsa de cauzalitate?

În realitate însă, după cum am stabilit în capitolele precedente, starea nu este nicidecum în mecanica cuantică o categorie instrumentală. Electronilor în mişcare li se aplică alte noţiuni de stare, de impuls, de energie etc., nu cele care figurează în mecanica clasică şi care pot fi aplicate electronilor numai în anumite condiţii speciale. Specificul mişcării corpurilor microscopice (cu proprietăţile lor corpuscular-ondulatorii) determină faptul că, în mecanica cuantică, mărimile fizice nu se exprimă cantitativ prin mărimi matematice „obişnuite", continue (ca în mecanica clasică), ci prin intermediul operatorilor lineari autoadjuncţi. Aceştia reprezintă mărimile fizice ale mecanicii cuantice, care caracterizează proprietăţile discontinue şi, în acelaşi timp continue ale microobiectelor în mişcare.

Aşadar, în mecanica cuantică, noţiunea de lege, de necesitate, de cauză etc. se exprimă cu ajutorul unor mărimi matematice care au o natură diferită de cea a mărimilor matematice din mecanica clasică; această particularitate a mecanicii cuantice exprimă faptul descoperit de fizică că, de exemplu, electronii nu se mişcă în spaţiu şi timp la fel ca, să zicem, un mănunchi de alice sau mulţimea stelelor din Galaxia noastră. Analizînd datele asupra proprietăţilor corpusculare şi ondulatorii ale microobiectelor, mecanica

[1] W. Heisenberg, *Principiile fizice ale teoriei cuantice*, p. 51.

[2] Cf. la W. Heisenberg, cunoscuta schemă în care se compară teoria clasică cu cea cuantică în problema spaţiului, a timpului şi a cauzalităţii (*ibidem*, p. 52). Această problemă este cercetată pe larg în paragraful 4.

cuantică a arătat caracterul limitat al legilor mecanicii clasice, însă principiul determinismului, ca şi toate celelalte teze fundamentale ale materialismului au rămas neclintite; legile mecanicii cuantice se bazează pe acest principiu. Bineînţeles, mecanica cuantică cu principiile ei, ca şi orice altă teorie corectă, nu reprezintă un „adevăr în ultimă instanţă". Mărginirea ei o pune în evidenţă în mod concret teoria cuantică a cîmpului, pe care o construiesc astăzi fizicienii. Însă idealismul încearcă să absolutizeze principiile mecanicii cuantice actuale, denaturînd conţinutul acestor principii. În problema principiului cauzalităţii, acest lucru se manifestă în „explicarea" caracterului statistic al mecanicii cuantice pe baza pretinsei statisticităţi principiale a microproceselor; cu alte cuvinte, după opinia idealiştilor, indeterminismul ar trebui pus la baza teoriei microfenomenelor.

În problema determinismului şi a cauzalităţii în mecanica cuantică, fizicienii idealişti comit cel puţin trei erori principiale.

În primul rînd, fizicienii idealişti ignorează deosebirea dintre determinismul mecanicist şi determinism. În al doilea rînd, confundînd cauzalitatea cu legea dinamică, ei sau opun cauzalitatea legii statistice, sau interpretează condiţionarea cauzală ca pe o medie statistică a unor fenomene elementare dezordonate. În al treilea rînd, şi aceasta are o importanţă decisivă, ei consideră cauzalitatea, legea, necesitatea etc. drept categorii subiective, drept ceva creat de mintea noastră şi nu recunosc cauzalitatea, legitatea, necesitatea, obiective din natură, reflectate din ce în ce mai complet şi mai exact în noţiuni, pe măsură ce progresează ştiinţa şi practica.

Toate aceste trei erori îşi găsesc o expresie concentrată în consideraţiile lui Heisenberg şi ale altor idealişti „fizici". În aceste consideraţii, problemei cauzalităţii şi a necesităţii în natură i se substituie problema exactităţii cunoaşterii noastre (simultane) a diferitelor mărimi cuantice. „Deoarece acum — scrie Heisenberg — caracterul specific al teoriei cuantice este strîns legat de imprecizia tuturor celor percepute, s-ar fi putut să înclinăm spre ipoteza că, dincolo de lumea statistică percepută, s-ar ascunde şi o oarecare lume „reală", în care este valabilă legea cauzalităţii. Însă o astfel de speculaţie ni se pare, şi atragem în mod special atenţia asupra acestui lucru, sterilă şi lipsită de sens"[1].

Aceeaşi idee apare şi la Reichenbach, atunci cînd el încearcă să demonstreze, într-un aşa-zis mod nou, că principiul cauzalităţii

[1] W. Heisenberg, „Zeitschrift für Physik", 43, H. 3—4, 1927, S. 117.



este incompatibil cu fizica cuantică. După Reichenbach, principiul cauzalităţii înseamnă posibilitatea de a prevedea viitorul oricît de exact, însă relaţia de nedeterminare duce la o variantă pretins deosebită a criticii cauzalităţii, deoarece, în conformitate cu această relaţie, „nu ne putem aştepta ca să fim capabili a anticipa ceva despre observaţiile viitoare" etc.[1].

Afirmaţiile idealiştilor „fizici" şi ale filozofilor burghezi asupra exactităţii cunoaşterii noastre, pe care aceştia le fac analizînd problema cauzalităţii în natură, reprezintă direcţia idealistă a consideraţiilor despre principiul cauzalităţii. „Problema gnoseologică într-adevăr importantă, care împarte curentele filozofice, nu e aceea de a şti ce grad de precizie a atins descrierea legăturilor de cauzalitate pe care o facem noi — şi dacă aceste descrieri pot fi exprimate în formule matematice precise — ci aceea de a şti dacă izvorul cunoaşterii acestor legături este legitatea obiectivă a naturii sau sînt însuşirile minţii noastre, facultatea proprie acesteia de a cunoaşte anumite adevăruri apriorice etc."[2].

Mecanica cuantică a făcut un nou pas pe calea cunoaşterii fenomenelor şi a legilor naturii. Noul pe care l-a adus mecanica cuantică în această problemă presupune recunoaşterea faptului că mişcarea este discontinuă (şi totodată continuă), că materia este continuă (şi totodată discontinuă). În mecanica cuantică, aceasta înseamnă că legile ei sînt exprimate prin intermediul unor noţiuni noi, care reflectă fenomene necunoscute pentru fizica precuantică şi, de asemenea, că, prin întregul ei conţinut, ea a subliniat necesitatea de a privi legea dinamică şi cea statistică ca pe o unitate.

În încheiere, să ne oprim asupra ideilor lui L. Rosenfeld — discipolul deja citat al lui Bohr — în problema determinismului în mecanica cuantică. Aceste idei, exprimate de autor în articolul „Controversa despre complementaritate" (1953), sînt interesante prin faptul că ele dovedesc, în fond, forţa de neînvins a materialismului dialectic.

După Rosenfeld, determinismul „este potrivit exact numai pentru descrierea fenomenelor la scară macroscopică" şi, în acest domeniu, el domneşte ca un principiu superior. În ceea ce priveşte fenomenele atomice, aici ar domni „complementaritatea" care, după Rosenfeld, este negarea dialectică a determinismului. „Fizicienii care mai continuă să se cramponeze de determinism,

[1] H. Reichenbach, *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*, p. 4.

[2] V. I. Lenin, *Opere*, vol. 14, E.S.P.L.P., p. 151.

închizînd ochii în fața demonstrației complementarității — afirmă Rosenfeld — înlocuiesc poziția rațională a unui om de știință prin poziția unui metafizician". Și mai departe, după ce îl citează pe Engels, autorul încheie: «Acei care doresc să „salveze" determinismul trebuie, în adevăr, să părăsească poziția sintetică, exprimată prin ideea complementarității, și să încerce a restabili într-un sens absolut unul dintre cele două aspecte antitetice ale materiei: unda sau corpusculul. Desigur, ei sînt incapabili să obțină acest rezultat fără a contraveni la logică și, de aceea, ajung în mod inevitabil la contradicții, pe care numai complementaritatea este capabilă să le înlăture»[1].

În cazul de față, ca și peste tot în articolul său, Rosenfeld nu vede deosebirea dintre determinismul mecanic și determinismul în accepția dată de materialismul dialectic. El a citat cîteva afirmații ale lui Engels, însă nu a înțeles la ce se referă ele, altfel nu ar fi încercat să cuprindă într-o triadă hegeliană determinismul și „complementaritatea". Cît de profund a pătruns Rosenfeld filozofia marxistă ne putem da seama după următoarea afirmație, în care el îl opune pe Lenin lui Engels: „Confuzia existentă între materialismul mecanicist și cel științific (pentru o mai mare precizie, autorul ar fi trebuit să adauge cuvîntul „dialectic". — *M. O.*) a fost urmărită de Lenin în celebrul său pamflet politico-filozofic „Materialism și empiriocriticism" (1908). Deși, fără îndoială, Lenin avea intenția să urmeze linia lui Engels, el a apărat în realitate materialismul mecanicist cu concepția sa metafizică a determinismului"[2] (?!). Comentariile sînt aici de prisos. Se știe bine că Lenin a criticat materialismul mecanicist și a ridicat la o treaptă superioară materialismul dialectic, dezvoltînd profund concepția cauzalității.

Astfel, din exemplul lui Rosenfeld, ne putem convinge încă o dată că prezentarea ideii „complementarității" drept materialism dialectic nu dă nimic în afară de confuzii.

### 2. Despre unitatea legii dinamice și a celei statistice

Mecanica cuantică este o teorie statistică. Această afirmație înseamnă că mecanica cuantică nu are de-a face cu un microobiect individual, aflat în interacție necontrolabilă cu un aparat,

[1] L. Rosenfeld, „Science of Progress", vol. XLI, 1953, nr. 163, pp. 399—400.

[2] *Ibidem*, p. 401.



cum susțin reprezentanții școlii de la Copenhaga. După cum am stabilit în cap. II al lucrării de față, mecanica cuantică este o teorie a microfenomenelor ce au loc în proporții de masă. Legile statistice specifice ale mecanicii cuantice (ca și legile mecanicii statistice) sînt legi obiective ale fenomenelor fizice și numai o astfel de afirmație asupra caracterului legilor statistice ale fenomenelor fizice corespunde științei. Nu este o întîmplare că împotriva acestei afirmații se ridică, în teoriile lor, filozofii reacționari contemporani și fizicienii idealiști, care-i susțin. Discuțiile aprinse asupra problemei relației dintre legea statistică și legea fenomenelor individuale în mecanica cuantică reprezintă un exemplu viu al luptei dintre materialism și idealism în problema caracterului legilor statistice.

Idealismul modern opune în mod nejustificat legile statistice legilor fenomenelor individuale și, încercînd să distrugă teoria materialistă asupra conexiunii legale și condiționării cauzale a fenomenelor din natură, „izgonește" necesitatea din domeniul microfenomenelor. Sînt semnificative, în această privință, afirmațiile și concluziile unor oameni de știință de peste hotare, cum sînt Schrödinger sau Neumann, și cele ale filozofului Reichenbach.

Pentru a putea înțelege situația în problema legii statistice și a celei nestatistice, vom da un exemplu care permite să ne facem o idee despre așa-numita lege a numerelor mari. În conformitate cu teoria cinetică a substanței, un gaz este format dintr-un număr foarte mare de molecule, care se mișcă dezordonat. Caracteristicile fundamentale ale gazului — presiunea, temperatura etc. — sînt determinate de acțiunea rezultantă a acestor molecule; astfel, presiunea gazului asupra pereților vasului în care se află este rezultatul acțiunii numărului mare de molecule care se ciocnesc de acești pereți. Vitezele moleculelor și numărul ciocnirilor într-un interval de timp dat variază de la caz la caz, dar, ca un rezultat al faptului că numărul de molecule este extrem de mare, presiunea gazului asupra pereților vasului nu variază practic în mod dezordonat, ci este constantă, după cum arată experiența. După părerea lui Schrödinger, în acest exemplu, putem privi rezultatul ciocnirii moleculelor separate ca un fenomen determinat, deoarece traiectoriile moleculelor sînt determinate de legile ciocnirii, cunoscute din mecanică, deși noi nu știm dacă, la o anumită ciocnire, o moleculă lovește pe cealaltă ceva mai la stînga sau ceva mai la dreapta, ceea ce modifică considerabil rezultatul ciocnirii. Dar, cu aceeași justificare, afirmă Schrödinger, putem considera că rezultatul ciocnirilor este nedeterminat inițial: în virtutea legii numerelor mari, experiența arată, și în acest caz, o presiune practic constantă.

Aceste afirmaţii idealiste ale lui Schrödinger au fost folosite de Reichenbach, în cartea citată mai sus: „Ideea determinismului... — scrie el — a fost pusă sub semn de întrebare, de îndată ce s-a stabilit că regularitatea macroscopică este compatibilă, în aceeaşi măsură, cu iregularitatea în domeniul microscopic“[1].

În lucrarea „Fundamentele matematice ale mecanicii cuantice“, Neumann a rezumat în următoarele cuvinte problema cauzalităţii în fizică:

„... În domeniul macroscopic, nu există nici un experiment care să sprijine cauzalitatea şi nici nu poate exista vreun asemenea experiment, deoarece ordinea cauzală aparentă a structurii Universului în general (adică a obiectelor vizibile cu ochiul liber) nu are, desigur, nici o altă cauză în afară de „legea numerelor mari“, absolut independent de faptul că procesele elementare determinante (adică adevăratele legi ale naturii) sînt sau nu cauzale. Faptul că obiecte macroscopic egale, se comportă macroscopic are iarăşi prea puţin comun cu cauzalitatea: în realitate, ele nu sînt nicidecum egale, deoarece coordonatele care determină exact starea atomilor lor nu coincid aproape niciodată, iar metoda de studiu macroscopic mediază aceste coordonate (ele sînt aici „parametri ascunşi“); însă, numărul lor este imens (într-un gram de substanţă, aproximativ $10^{25}$) şi, de aceea, această mediere implică, potrivit teoremelor calculului probabilităţilor, o micşorare considerabilă a împrăştierilor. (Toate acestea se produc astfel numai în general, iar în cazuri speciale, de exemplu în mişcarea browniană,... această cauzalitate macroscopică aparentă nu mai este valabilă)“.

Şi Neumann încheie: „Numai în procesele atomice cele mai elementare, problema cauzalităţii ar fi putut fi în adevăr verificată, însă la starea actuală a cunoştinţelor noastre, toate se află în contradicţie cu aceasta, deoarece... mecanica cuantică este într-o contradicţie logică faţă de cauzalitate. Ar fi, se înţelege, o exagerare să afirmăm că, prin aceasta, cauzalitatea este înlăturată: desigur, mecanica cuantică, în forma ei actuală, este plină de lacune şi poate chiar falsă, deşi aceasta... este pur şi simplu improbabil. Cu toate că mecanica cuantică se află într-o concordanţă strălucită cu experienţa, ...noi nu putem spune niciodată despre o teorie că este demonstrată de experienţă; noi

[1] H. Reichenbach, *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*, p. 7.



nu putem spune decît că ea este cea mai bună generalizare concisă a acesteia, dintre cele pe care le cunoaştem. Însă cu toate aceste rezerve, îndrăznim totuşi să spunem: în prezent, nu există nici un motiv *(Anlass)* şi nici o justificare pentru a vorbi de cauzalitate în natură, deoarece existenţa ei nu se bazează pe experienţă, întrucît fenomenele macroscopice sînt principial inutilizabile pentru aceasta, iar unica teorie cunoscută, compatibilă cu cunoştinţele noastre experimentale asupra proceselor elementare — mecanica cuantică — o contrazice“[1].

Noi am citat înadins un fragment mare din Neumann, pentru a pune mai bine în evidenţă cum cade în idealism un metafizician, care nu este în stare s-o scoată la capăt cu dialectica necesităţii şi a întîmplării în lumea obiectivă. În ce constă greşeala punctului de vedere al lui Neumann asupra cauzalităţii?

În primul rînd, Neumann leagă legile statistice sau de „cunoaşterea insuficientă“ a fenomenelor cercetate, sau de indeterminism.

În al doilea rînd, Neumann încearcă să reducă legea statistică la legea fenomenelor individuale, iar atunci cînd această operaţie nu reuşeşte, el declară că, în conformitate cu datele ştiinţei moderne, în natură nu ar acţiona decît legea statistică şi că, în prezent, nu am putea vorbi despre existenţa cauzalităţii în natură.

În al treilea rînd, Neumann vede baza legităţii fenomenelor macroscopice în „legea numerelor mari“. Pe ce se bazează „legea numerelor mari“ este o problemă pe care o lasă deschisă, sau mai bine zis, el înclină cu tot felul de rezerve spre concepţia că, actualmente, această problemă nu poate fi rezolvată.

În al patrulea rînd, după Neumann, mecanica cuantică actuală poate fi falsă, sau dacă este corectă, atunci ea o isprăvit-o cu cauzalitatea, deoarece mecanica cuantică de astăzi este incompatibilă cu recunoaşterea existenţei „parametrilor ascunşi“.

Mulţi fizicieni şi filozofi idealişti moderni consideră poziţia lui Neumann drept invulnerabilă. Vom încerca să infirmăm această părere şi să facem analiza critică a punctului de vedere al lui Neumann asupra cauzalităţii.

Calculul probabilităţilor, pe care se bazează statistica, se ocupă, după cum se ştie, de legile generale ale fenomenelor aleatorii ce au loc în proporţii de masă. Aceasta este cauza pentru care

[1] J. von Neumann, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Berlin, 1932, pp. 172—173.

teoria substanței nu poate renunța la concepțiile probabiliste, statistice, deoarece, în conformitate cu atomistica, care stă la baza teoriei structurii substanței, corpul macroscopic este constituit dintr-o mulțime de corpuri microscopice. Din acest punct de vedere, de exemplu, trecerea de la fenomenele atomice și moleculare la fenomenele macroscopice poate fi realizată numai cu ajutorul statisticii.

De aici, reiese clar că, de exemplu, comportarea unui gaz, ca un tot format dintr-un număr imens de molecule, se deosebește de comportarea unei molecule individuale. Legea statistică, care are de-a face cu „valori medii", nu este identică cu legea căreia îi este supusă o moleculă individuală. „... O mărime medie — scrie Marx — nu *există* niciodată decît ca medie a unui mare număr de mărimi individuale diferite, din aceeași specie"[1]. Prin urmare, valoarea medie nu exprimă în mod cantitativ particularitatea care deosebește o mărime individuală de altele, ci exprimă caracterul specific al mărimilor individuale, adică ceea ce reunește aceste mărimi, le face să fie mărimi din aceeași categorie; în totalitatea mărimilor individuale din specia dată, se produce, din această cauză, compensarea reciprocă a abaterilor individuale de la valoarea medie. Toate acestea înseamnă, în exemplul nostru cu gazul, că o moleculă care apasă pe un perete al vasului, apasă pe el că o moleculă care face parte dintr-o mulțime de alte molecule, adică la fel ca și orice altă moleculă, ea posedă caracterul de moleculă „medie". Presiunea macroscopică constantă a gazului asupra pereților vasului, observată în condițiile obișnuite, este forța care acționează asupra suprafeței peretelui din partea moleculelor de gaz, atunci cînd numărul acestor molecule este extrem de mare. Atunci cînd s-au putut izola cantități relativ mici de molecule, s-au descoperit așa-numitele fluctuații, abateri de la valoarea constantă a presiunii. Statistica fizică a lui Maxwell-Boltzmann ne permite să rezolvăm toate problemele din acest domeniu.

Acest exemplu ne dă posibilitatea să ne convingem că cunoașterea completă sau incompletă a comportării unității structurale a unui corp nu are legătură directă cu cunoașterea acestui corp ca un întreg. Cunoașterea legilor fenomenelor ce au loc în proporții de masă nu se poate baza pe „cunoștințele insuficiente" despre procesele individuale; această idee este dezvoltată în mod consecvent de către oamenii de știință sovietici, la expunerea

[1] K. Marx, *Capitalul*, vol. I, Ed. P.M.R., p. 305.



calculului probabilităților[1]. Cei ce văd premisele legii statistice în „informația insuficientă" asupra elementelor individuale care formează ansamblul statistic comit o eroare idealistă, de același gen cu eroarea celor ce confundă problema existenței obiective a legăturilor cauzale din natură cu problema preciziei cunoașterii noastre a acestor legături cauzale, lucru de care ne-am ocupat mai sus.

Cu aceste probleme se află într-o legătură directă problema așa-numiților „parametri ascunși", analizată de Neumann pentru mecanica cuantică. Esența ei constă în următoarele. Ca teorie statistică, mecanica cuantică ne dă posibilitatea să stabilim numai probabilitățile diferitelor procese atomice. Dar s-ar putea să existe mărimi încă necunoscute („parametri ascunși"), a căror cunoaștere va însemna posibilitatea de a rezolva probleme care nu se mai referă la legile probabilităților microfenomenelor, ci la legile fenomenelor înseși.

Neumann a rezolvat în mod negativ problema parametrilor ascunși. El a demonstrat că nu putem completa mecanica cuantică, în așa fel încît să eliminăm relația de nedeterminare. Dacă, în conformitate cu teoria cinetică a substanței din fizica clasică, legile statistice pot fi considerate drept „legi medii", atunci în mecanica cuantică, potrivit susținerilor lui Neumann, legile ei nu sînt „legi medii", adică nu presupun acțiunea unor legi ale microfenomenelor individuale.

Din considerațiile lui Neumann, nu rezultă nicidecum că mecanica cuantică actuală, după cum crede el, ar fi principial indeterministă și că, pentru a face ca teoria fenomenelor atomice să devină deterministă, ar trebui să se creeze o teorie absolut nouă, iar mecanica cuantică modernă să fie predată la arhivă.

După Neumann, indeterminismul este propriu mecanicii cuantice actuale, pentru că în ea sînt imposibili parametrii ascunși, iar imposibilitatea acestora este o consecință a imposibilității unor alte mărimi fizice în mecanica cuantică, în afara celor reprezentate prin operatori.

În ceea ce privește afirmațiile lui Neumann despre parametrii ascunși, trebuie să subliniem că, în primul rînd, dezvoltarea științei poate să ducă la descoperirea unor mărimi fizice noi, care nu se vor exprima cu ajutorul mărimilor continue (ca în fizica clasică) și nici cu ajutorul operatorilor lineari autoadjuncți (ca

[1] Vezi, de exemplu, B. V. Gnedenko, *Kurs teorii veroiatnostei*, M.—L., 1950.

în mecanica cuantică) şi, în al doilea rînd, această descoperire poate să influenţeze mecanica cuantică, dar nu în sensul că va trebui să o eliminăm din fizică.

În consideraţiile lui Neumann asupra parametrilor ascunşi, aceştia sînt subordonaţi relaţiilor mecanicii cuantice; după cum a menţionat D. I. Blohinţev[1], aceasta este cauza pentru care Neumann ajunge la concluzia sa negativă. Dar parametrii ascunşi, dacă există, pot să aibă o altă natură decît mărimile cuantice şi pot să nu fie subordonaţi relaţiilor cuantice; ei pot fi, de exemplu, legaţi cu cîmpul vidului. Legile statistice, ca „legi medii", şi legile fenomenelor individuale (a căror acţiune se însumează sub forma unei „legi medii") pot să se ocupe de mărimi fizice care se deosebesc calitativ unele de altele.

Aşadar, din consideraţiile lui Neumann, nu rezultă nicidecum că răspunsul la problema parametrilor ascunşi ar trebui să fie neapărat negativ şi că ar trebui să recunoaştem, într-un fel sau altul, că, în domeniul microfenomenelor domneşte indeterminismul.

Este perfect admisibilă existenţa unor mărimi a căror cunoaştere va permite rezolvarea problemelor ce se referă direct la microfenomenele individuale. Însă Neumann a ajuns la un rezultat negativ, pentru că el a abordat problema parametrilor ascunşi de pe poziţiile greşite ale recunoaşterii indeterminismului.

În legătură cu problema parametrilor ascunşi în mecanica cuantică, s-a pronunţat şi Pauli, în culegerea citată, dedicată lui de Broglie. El a răspuns lui Bohm, care arătase că concluziile lui Neumann despre parametrii ascunşi nu se referă la interpretarea dată de el (Bohm) mecanicii cuantice. Dacă parametrii ascunşi există, ei ar trebui să se manifeste în deosebirile din comportarea a două sisteme asemănătoare care au o aceeaşi funcţie de undă, iar aceasta ar duce la modificări însemnate în proprietăţile termodinamice ale acestor sisteme. Aceasta este ideea fundamentală a lui Pauli. Însă aceste variaţii (aşa-numitele variaţii seculare ale distribuţiilor Bose-Einstein sau Fermi-Dirac) se află în contradicţie totală cu caracterul general al experimentelor noastre şi, după analiza corespunzătoare, Pauli conchide că dezvoltarea teoriei microfenomenelor „ne îndepărtează şi mai mult de posibilitatea interpretării cauzale şi deterministe"[2].

[1] D. I. Blohinţev, UFN, vol. XLV, fasc. 2, 1951, p. 214.
[2] *Louis de Broglie — physicien et penseur*, pp. 41—42.



Din partea noastră, menţionăm că punctul de vedere asupra parametrilor ascunşi, susţinut în lucrarea de faţă, se află în afara consideraţiilor lui Pauli.

Cu concepţiile indeterministe ale lui Neumann şi Pauli se află în rezonanţă şi concepţiile lui Mises, ale cărui idei din domeniul calculului probabilităţilor şi statisticii s-au bucurat de o mare răspîndire în literatura asupra problemelor fizicii. Concepţia machistă idealistă a lui Mises a fost criticată de oameni de ştiinţă sovietici şi străini[1]. Însă, această critică şi, în primul rînd, critica concepţiei statistice a lui Mises în domeniul fizicii nu poate fi considerată suficientă.

Mises consideră că este mai corect să denumim teoria statistică indeterminism[2], adică el exclude legile statistice din legătura cauzală necesară. Pornind de la „observabilitatea principială", Mises afirmă că „determinismul clasic riguros" nu este decît aparent. Şi în macro- şi în microcosm, domneşte, după Mises, statistica, întîmplarea pură, căci orice principiu al unei teorii fizice trebuie, pretinde el, să fie considerat numai în legătură cu experienţa, cu măsurarea care serveşte la verificarea lui, iar măsurarea este numai o operaţie statistică.

De ce domneşte, după Mises, statistica în domeniul fenomenelor macroscopice? Pentru explicarea mişcării corpurilor mari, dacă la măsurare se utilizează un aparat grosolan, este aplicabilă în întregime „teoria deterministă". Însă de îndată ce aparatul de măsură este perfecţionat, spune Mises, „apar aceleaşi dificultăţi pe care le-am stabilit înainte pentru mişcarea particulelor mici"; în acest caz, rezultatul observaţiei este un colectiv statistic, un ansamblu statistic, şi „afirmaţia teoriei deterministe iniţiale nu va avea decît o valoare statistică, ca o afirmaţie despre speranţa matematică a unor anumite colective"[3].

Aşadar, existenţa unor legi nestatistice (pe care Mises o identifică cu existenţa determinismului) este pusă de Mises în dependenţă de precizia şi de perfecţionarea aparatului de măsură: o teză pătrunsă în întregime de idealism, de machism.

[1] Vezi, de exemplu, A. I. Hincin, *Ucenie Misesa o veroiatnosteah i prinzipî fiziceskoi statistiki*, UFN, vol. IX, fasc. 2, 1929; B. V. Gnedenko, *Kurs teorii veroiatnostei*. Vezi, de asemenea, N. Arley şi K. Buch, *Introducere în calculul probabilităţilor şi în statistica matematică*, M., 1951, p. 24.
[2] R. Mises, UFN, vol. X, fasc. 4, 1930, p. 442.
[3] *Ibidem*, pp. 458—459.

În ceea ce privește statisticitatea principială din domeniul microfenomenelor, Mises se asociază aici în întregime lui Heisenberg.

Am amintit mai sus că critica concepției lui Mises nu poate fi considerată suficientă. Astfel, A. I. Hincin, criticînd în mod just și profund aspectul principial-metodologic și cel matematic al teoriei lui Mises, consideră totodată, în mod absolut greșit, că „teoria lui Mises despre principiile statisticii fizice poate fi dezvoltată independent de punctele de vedere asupra concepției generale a probabilității"[1]. Hincin adoptă „schema de tratare naturfilozofică extrem de rodnică a lui Mises"[2]. După părerea sa, pornind de la concepția lui Mises, „putem raporta în mod rațional la întîmplări o mare parte din procesele fizice, putem chiar ceda întîmplării, în unele cazuri, dominația totală, fără să pierdem în același timp nimic din înțelegerea cauzal-deterministă a acestor procese și fenomene"[3].

Este drept că, în ultimele sale lucrări[4], A. I. Hincin a analizat critic concepțiile statistice ale lui Mises în domeniul fizicii, dar el nu analizează afirmațiile corespunzătoare din lucrările sale anterioare. De aceea, ținînd seama că, printre fizicieni, teoria lui Mises se bucură pînă astăzi de succes, să examinăm considerentele asupra problemelor determinismului în fizică, pe care le-a emis A. I. Hincin în articolul „Teoria lui Mises asupra probabilităților și principiile statisticii fizice" (1929)[5].

Am arătat mai sus că Mises pune în legătură prezența determinismului, sau după cum spune el, a legilor dinamice în fenomenele din natură cu precizia aparatului de măsură cu ajutorul căruia sînt cercetate aceste fenomene: după Mises, legea statistică nu există ca ceva obiectiv. În articolul lui A. I. Hincin, această teză greșită este de fapt susținută. Pentru a arăta mai clar despre ce este vorba aici, să ne oprim la două exemple citate de A. I. Hincin, pentru ilustrarea considerațiilor sale.

Dacă studiem mișcarea Pămîntului în jurul Soarelui, atunci, dacă vrem să avem o teorie exactă, trebuie să ținem seama, în afară de atracția dintre Soare și Pămînt, și de influența Lunii, a

[1] A. I. Hincin, UFN, vol. IX, fasc. 2, 1929, p. 160.
[2] *Ibidem*, p. 162.
[3] *Ibidem*.
[4] Vezi, de exemplu, A. I. Hincin, *Metod proizvolnîh funkții i borba protiv idealizma v teorii veroiatnostei*, în *Filosofskie voprosî sovremennoi fiziki*, M., 1952.
[5] Vezi A. I. Hincin, UFN, vol. IX, fasc. 2, 1929, p. 163.



planetelor și a altor corpuri din sistemul solar. Însă, continuă A. I. Hincin, fiecare mișcare a fiecărei particule oricît de mici de pe Pămînt, de pe Soare și, în general, de ori unde în univers, deviază Pămîntul de la orbita prevăzută de teoria noastră. Aceste abateri nu sînt mari, legile care le guvernează sînt atît de complicate, încît nu avem nici o posibilitate de a le include în teoria noastră și preferăm să nu le explicăm și să nu le prevedem, atribuindu-le astfel întîmplării.

Cu alte cuvinte, după Hincin, rezultă că, în fenomenul despre care este vorba în exemplul de față, întîmplarea există, însă influența ei este infimă și, în practică, o neglijăm, spunînd că „mișcarea Pămîntului în jurul Soarelui este supusă unor legi exacte, în care întîmplarea nu-și găsește loc". Pe scurt, după Hincin, întîmplare este ceea ce nu este cuprins de teorie, ceea ce nu intră în ea.

Un alt exemplu. Să presupunem că un recipient cu un gaz, constituit dintr-un număr imens de molecule care se mișcă haotic, este izolat de lumea exterioară. Să admitem că moleculele se ciocnesc între ele și cu pereții recipientului (care sînt absolut netezi), ca niște bile perfect elastice. Însă în lumea reală, arată A. I. Hincin, gazul nostru nu poate fi izolat și chiar acest singur fapt creează pentru un proces real o mulțime imensă de abateri „întîmplătoare" de la procesul idealizat. Iar aici, în opoziție cu primul exemplu, întîmplarea nu se rezumă la introducerea unor corecții mici, practic neglijabile, în desfășurarea fenomenului, ci distruge în întregime imaginea procesului, pe care o construiește teoria, înlocuind-o printr-o nouă imagine, supusă legilor statistice[1].

Cu alte cuvinte, și în acest exemplu, la Hincin întîmplarea este ceea ce nu intră în teorie, deși ea este supusă unor legi și determinată.

În primul rînd, în considerațiile lui A. I. Hincin, legile fenomenelor individuale sînt opuse legilor statistice; în al doilea rînd, teoria (întrucît ea nu cuprinde decît legile nestatistice) nu reflectă realitatea (întrucît realitatea conține ceea ce nu este cuprins în teorie și apare în raport cu ea ca ceva întîmplător); în al treilea rînd, deși A. I. Hincin afirmă că întîmplarea este determinată, el indică totodată că teoria nu cuprinde întîmplările, așa încît afirmația lui A. I. Hincin că întîmplarea este determinată rămîne o frază fără conținut concret.

[1] Vezi A. I. Hincin, UFN, vol. IX, fasc. 2, 1929, p. 199.

Considerațiile citate ale lui A. I. Hincin despre întîmplare și cauzalitate seamănă foarte mult cu o concepție metafizică despre necesitate și întîmplare, pe care a criticat-o Engels, în „Dialectica naturii". „. . . Interes prezintă numai ceea ce poate fi încadrat în legi, deci ceea ce *este cunoscut*, iar ceea ce nu se încadrează în legi, deci ceea ce nu este cunoscut, nu interesează, poate fi neglijat. Dar în felul acesta încetează orice știință, căci rolul ei este doar să cerceteze tocmai ceea ce *nu* cunoaștem. Aceasta înseamnă: se consideră necesar ceea ce poate fi încadrat în legi generale, iar ceea ce nu se încadrează e considerat ca întîmplător. Se vede clar de aici că aceasta este o știință care prezintă ca firesc doar ceea ce poate explica, punînd pe seama unor cauze supranaturale ceea ce nu poate explica. Pentru esența problemei este perfect egal dacă voi denumi cauza fenomenelor inexplicabile întîmplare sau dumnezeu. Ambele numiri nu înseamnă decît: eu nu știu, și prin urmare, ele nu sînt de domeniul științei. Știința încetează acolo unde legătura necesară nu poate fi sezisată"[1].

Problemele examinate mai sus duc, într-un fel sau altul, la problema raportului dintre legea statistică și legea fenomenelor individuale. Pentru lămurirea ei au o importanță hotărîtoare tezele filozofice ale materialismului dialectic asupra cauzalității, necesității și întîmplării, precum și afirmațiile clasicilor marxism-leninismului asupra statisticii economice. Deși aceste afirmații se referă nemijlocit la probleme economice, valoarea lor principială depășește cu mult cadrele științei economice; ele sînt valabile și pentru problemele științelor naturii.

Știința este incompatibilă cu întîmplarea pură, arată materialismul dialectic. Aceasta înseamnă că întîmplările care există în natură și în societate pot fi înțelese corect nu în afară și separat de necesitate, ci numai în legătură cu necesitatea, ca o formă de manifestare a acesteia. Fără o asemenea tratare în cercetarea științifică, sînt izgonite legile din știință, este introdus prin contrabandă misticismul, pe scenă apare indeterminismul cu negarea legilor obiective și cu înțelegerea naturii ca un haos de fenomene întîmplătoare. Pe această poziție indeterministă, se situează metafizicianul, atunci cînd afirmă, de exemplu, că abaterea mărimilor individuale de la valoarea medie este guvernată de „legea numerelor mari", și nu merge mai departe de aceasta.

Materialismul dialectic pune în evidență o cu totul altă abordare a acestei probleme. De exemplu, Marx explică regularitatea

[1] F. Engels, *Dialectica naturii*, E.S.P.L.P., p. 220.



cu care se echilibrează oscilațiile prețurilor, nu printr-o „lege statistică", ci prin legea fenomenului însuși, în cazul de față, prin legea valorii. Marx scrie: „Dacă . . . în nici un singur caz dat cererea și oferta nu se echilibrează, inegalitățile lor însă se succed în așa fel . . . încît, considerînd întregul pe o perioadă de timp mai lungă sau mai scurtă, oferta și cererea se echilibrează necontenit, dar numai ca medie a mișcării trecute și numai ca mișcare permanentă a contradicției dintre ele. În felul acesta prețurile de piață, care se abat de la valorile de piață, privite în raport cu cifra lor medie, se echilibrează la valoarea de piață, abaterile de la aceasta din urmă compensîndu-se prin plus și minus"[1].

Marx arată, mai departe, că variația în valoare modifică cererea, și deci raportul dintre cerere și ofertă; această modificare a cererii poate provoca modificarea ofertei, ceea ce demonstrează că nu valoarea este reglată de raportul dintre cerere și ofertă, ci dimpotrivă, cererea însăși reglează aceste raporturi[2].

Așadar, dacă explicăm, urmîndu-l pe Neumann, legea macroscopică prin legea numerelor mari, aceasta înseamnă că negăm necesitatea intrinsecă care determină oscilațiile în jurul mediei și — aceasta este lucrul principal — înseamnă că renunțăm, de la început, la explicarea acestei necesități. Din acest punct de vedere statistic unilateral, se obține, la urma urmelor, că teoria cinetică a substanței s-ar baza în mod exclusiv pe statistică, că mecanica cuantică este indeterministă, că în lume nu există necesitate și cauzalitate, sau, în orice caz, că nu putem demonstra existența lor, dacă nu în general, atunci cel puțin în stadiul actual al științei.

Desigur, teoria cinetică a gazelor nu pornește pur și simplu de la premisa că moleculele se mișcă în conformitate cu mecanica lui Newton, dar ea mai introduce și propoziții statistice suplimentare, de felul ipotezei despre dezordinea moleculară. Totodată, și trebuie să o subliniem, aceste propoziții statistice suplimentare presupun (ținînd seama de anumite date empirice) recunoașterea valabilității aceleiași mecanici clasice; astfel, stabilirea „dezordinii moleculare" este determinată de faptul că moleculele se ciocnesc între ele în conformitate cu legile mecanicii.

Dacă ar fi să cădem de acord cu afirmația că fizica se bazează numai pe concepții statistice, atunci cum am putea explica că teoria gazului real folosește schema statistică, sau, cum se

[1] K. Marx, *Capitalul*, vol. III, E.S.P.L.P., 1956, p. 195.
[2] Vezi *ibidem*, p. 197.

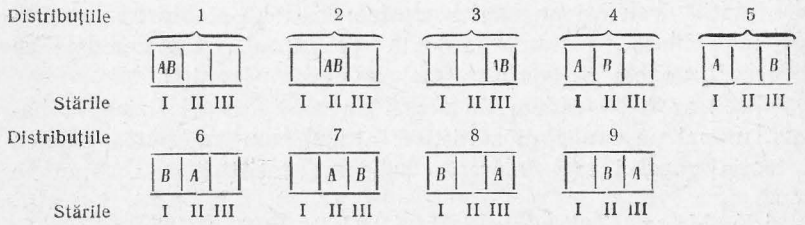
spune, statistica fizică a lui Maxwell-Boltzmann, iar la studiul radiației corpului negru sau a gazului electronic din metal, statistica lui Boltzmann nu mai poate servi, fiind înlocuită respectiv prin statisticile Bose-Einstein și Fermi-Dirac.

În general, care sînt motivele pentru alegerea unei anumite scheme statistice, pentru alegerea cazurilor echiprobabile? Calculul probabilităților, pe care se bazează statistica, nu dă și nici nu poate da un răspuns la aceste întrebări.

Să presupunem, de exemplu, că se cere să distribuim în toate modurile posibile două obiecte în trei stări. Statistica lui Boltzmann afirmă că numărul de cazuri echiprobabile de distribuire a obiectelor este 9; în conformitate cu statistica Bose-Einstein, acest număr este egal cu 6, iar în conformitate cu statistica Fermi, cu 3; potrivit aceloraşi scheme statistice, probabilitatea distribuirii obiectelor cîte unul în fiecare stare este egală respectiv cu $^2/_3$, $^1/_2$, 1[1]. Care este justificarea fiecărei scheme statistice, care par toate să rezolve aceeaşi problemă, ajungînd însă la rezultate diferite? Această justificare este dată de fizică, de cunoaşterea particularităților referitoare la obiectele individuale. Teoria clasică privește, în exemplul nostru, obiectul ca pe o particulă care posedă o individualitate și, de aceea, poate fi distinsă de un alt obiect de același fel; acest fapt își găsește expresia în statistica Boltzmann, care, după cum se știe, consideră diferite distribuțiile 4 și 6, 5 și 8, 7 și 9 (vezi nota). Teoria cuantică consideră obiectul ca ceva care posedă proprietăți analoge cu proprietățile unei unde și, de aceea, în conformitate cu principiile ei fundamentale, obiectele ei de același tip se consideră ca fiind identice; acest fapt își găsește o expresie în statistica Bose-Einstein (care, după cum se știe, nu distinge distribuțiile boltzmanniene 4 și 6, 5 și

[1] În conformitate cu exemplul nostru, putem da următoarea imagine intuitivă despre statisticile Boltzmann, Bose-Einstein și Fermi-Dirac:

*Statistica Boltzmann:*




Pătrățele reprezintă stările, iar literele *A*, *B*, obiectele.



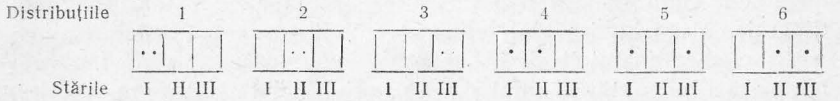
8, 7 și 9) și una în statistica Fermi-Dirac (care nu numai că nu distinge aceste distribuții, dar, în același timp, nu recunoaște distribuțiile boltzmanniene și einsteiniene 1, 2 și 3).

Așadar, alegerea unei anumite scheme statistice, stabilirea cazurilor echiprobabile etc. este determinată numai de particularitățile obiectelor. Cunoașterea legilor naturii, pe care le studiază fizica, nu se poate baza pe concepții statistice pure; înseși concepțiile statistice, pentru a putea servi fizicii, trebuie să se bazeze pe recunoașterea și pe cercetarea particularităților, a proprietăților, a legilor fenomenelor individuale.

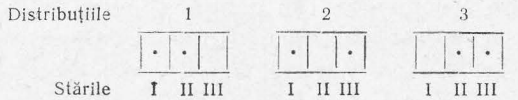
Am ajuns la problema legii fenomenelor individuale și la relațiile ei cu legea fenomenelor aleatorii ce au loc în proporții de masă, adică la legea statistică.

Reamintim, în primul rînd, că legea statistică este o lege care se referă la o mulțime de fenomene care, în condiții date, aparțin la o aceeași specie. De aceea, fenomenul individual nu poate fi subordonat unei legi statistice, unei astfel de legi i se supune numai un fenomen de masă, în sensul indicat mai sus. Așadar, cunoașterea unei legi statistice nu înseamnă nicidecum că, prin aceasta, noi putem calcula, de exemplu, comportarea unei molecule de gaz, sau să stabilim ce se va produce cu un anumit atom radioactiv la un anumit moment. Acest aspect al legii statistice nu este un defect al legii statistice, ci doar o expresie a faptului că atît calculul probabilităților cît și teoria statistică, bazată pe el, nu au de-a face decît cu acele proprietăți ale fenomenelor și obiectelor, pe care acestea le posedă nu ca obiecte individuale, ci ca un ansamblu anumit. O lege statistică are sens numai pentru valorile medii ale mărimilor fizice care caracterizează un număr suficient de mare de fenomene individuale, aparținînd, în condiții determinate, la o aceeași specie. Cu cît este mai mic numărul

*Statistica Bose-Einstein*




*Statistica Fermi-Dirac*




Pătrățelele reprezintă stările, iar punctele din pătrățele, obiectele.

acestor fenomene, care se iau în considerare şi la care se referă mărimile studiate, cu atît mai clar apar abaterile întîmplătoare de la legea prin care aceste fenomene se manifestă. În experimentele din fizica atomică, avem de-a face de obicei cu ansamble formate dintr-un număr mare de obiecte şi, de aceea, mecanica cuantică dă prognoze perfect determinate asupra comportării ansamblelor de microobiecte.

Legile fenomenelor individuale reprezintă, într-un anumit sens, contrarul legilor statistice, ca legi ale fenomenelor aleatorii ce au loc în proporţii de masă. Legile fizice ale fenomenelor individuale exprimă raporturile esenţiale, legăturile necesare ale fenomenelor fizice individuale, legăturile dintre aspectele lor, dintre proprietăţile lor etc., caracterizate prin mărimi. Legile fizicii se exprimă, de obicei, prin formule matematice. În particular, relaţia matematică în care este exprimată legea de variaţie în timp a stării unui sistem material, ne permite să calculăm, pentru orice moment, valorile mărimilor fizice care caracterizează starea acestui sistem. Această din urmă lege este tocmai o lege dinamică.

Se pot lua în considerare şi legi dinamice într-un sens mai larg, şi anume legile dinamice care nu coincid cu legile fenomenelor individuale. Astfel, legea exprimată din punct de vedere matematic prin ecuaţia undelor, care leagă valorile funcţiei de undă la momente diferite, este o lege dinamică, însă această lege nu se referă la legile unor fenomene individuale, deoarece, în conformitate cu ecuaţia undelor, nu avem de-a face cu valorile mărimilor fizice, ci cu distribuţii statistice ale mărimilor fizice. Cu alte cuvinte, ecuaţia undelor exprimă matematic o lege dinamică, care nu se referă la un proces individual, ci la unul statistic.

De aceea, după cum a observat în mod just I. P. Terleţki[1], numai în mod convenţional putem pune funcţia de undă pe acelaşi plan, de exemplu, cu intensitatea cîmpului electric. Legile mecanicii cuantice sînt legi dinamice, numai prin extensiune; legi dinamice propriu-zise sînt legile de mişcare ale mecanicii clasice, legile electrodinamicii şi, în general, legile care exprimă legătura necesară dintre stările unui obiect individual la momente diferite.

Noţiunea de lege dinamică simplifică întotdeauna întrucîtva legătura dintre fenomenele din natură şi nu o reflectă în întregime, deoarece această lege are sens numai cu aplicaţie la sisteme materiale individuale. În unele condiţii, această izolare a unui

[1] I. P. Terleţki, *Dinamiceskie i statisticeskie zakonî fiziki*, pp. 16—17.



anumit sistem material de alte sisteme materiale nu este numai posibilă, ci şi necesară (astfel procedează, de exemplu, mecanica cerească la studiul sistemului solar), însă în anumite condiţii, această izolare nu este numai imposibilă, dar nici măcar nu corespunde esenţei lucrurilor (de exemplu, la studiul mişcării browniene). În acest caz, intră în joc teoria statistică care cercetează obiectele, nu în mod individual, ci în ansamblu, cu noţiunea ei de lege statistică. Care este relaţia dintre legea dinamică, ca lege a fenomenelor individuale, şi legea statistică?

Am făcut mai sus analiza critică a punctului de vedere după care noţiunile legate de noţiunea de lege statistică ar avea la baza lor o anumită „ignoranţă", iar noţiunile legate de noţiunea de lege dinamică s-ar baza pe cunoaştere. Subliniem, încă o dată, că atît cunoaşterea cît şi necunoaşterea unor date referitoare la fenomenele cercetate nu au nici o legătură cu problema raportului dintre legea dinamică şi cea statistică, cu problema: ce leagă şi ce deosebeşte „dinamicul" şi „statisticul".

Legea dinamică se deosebeşte de legea statistică, dar aceasta nu înseamnă deloc că propoziţiile deduse pe baza recunoaşterii unei legi dinamice şi cele deduse pe baza calculului probabilităţilor s-ar deosebi prin gradul lor de veridicitate: atît afirmaţiile „dinamice" (de exemplu, cele astronomice) cît şi afirmaţiile, concluziile, previzările statistice etc. posedă, în raportul lor cu realitatea obiectivă, aceeaşi veridicitate, claritate, determinare. De aceea, în particular, nu putem vedea deosebirea între statistica gazelor şi statistica fenomenelor atomice, aşa cum consideră mulţi fizicieni, în faptul, că în primul caz, este practic greu să se măsoare „precis" starea iniţială, iar în al doilea caz, acest lucru este principial imposibil. Considerentele „practice" sau „principiale" relative la cunoaşterea sau necunoaşterea stării obiectelor nu au nici o legătură nici cu statistica în general, nici cu deosebirea dintre statistica gazelor şi statistica fenomenelor atomice în particular. S. I. Vavilov scrie despre aceasta: „În gaze, legile probabilităţilor trebuie introduse în măsura în care nu încape îndoiala că stările iniţiale ale moleculelor, în cazul unui număr mare al lor, sînt distribuite după legi statistice. Dar oare nu din aceleaşi considerente se introduc legile statistice şi în descrierea fenomenelor atomice? Dacă, observînd difracţia luminii sau a electronilor, noi nu putem spune de ce un foton sau un electron dat a ajuns tocmai în punctul dat al imaginii de difracţie, atunci gradul ignoranţei noastre este acelaşi ca şi în cazul în care nu putem spune

de ce o anumită moleculă are valori date ale coordonatei şi impulsului. Cu alte cuvinte, cred că, din punct de vedere metodologic, cu toată deosebirea profundă a celor două probleme, avem aici, în principiu, aceeaşi situaţie"[1].

Mecanicismul în fizică reduce legile fenomenelor fizice la legea dinamică. În mod corespunzător, el tratează legea statistică ca pe o lege care admite excepţii şi, de aceea, în opoziţie cu legea dinamică, n-ar satisface condiţia explicării deterministe, cauzale a naturii. De aceea, mecanicismul vede rezolvarea problemei raporturilor dintre legea statistică şi cea dinamică în reducerea legii statistice la cea dinamică; că acest lucru este nejustificat am arătat mai sus. Pe de altă parte, „idealismul fizic" tratează legile fenomenelor fizice ca legi în ultimă instanţă pur statistice şi priveşte legea statistică drept ceva ce se bazează pe simpla întîmplare şi de aceea, o defineşte ca „ordine în dezordine"[2].

Idealismul în fizică ajunge astfel, în problema raportului între legea dinamică şi cea statistică, la teza metafizică după care în natură ar domni întîmplarea.

Care este însă conţinutul real al relaţiei dintre legea dinamică şi cea statistică? Ansamblul statistic nu este o colecţie de obiecte sau fenomene izolate, ci o unitate a lor, cu proprietăţi pe care nu le au obiectele, sau fenomenele luate separat: fiecare fenomen care intră în ansamblul statistic este subordonat unei legi dinamice şi, în acelaşi timp, deoarece el este un element al unei unităţi, al unui întreg, al unui ansamblu, el este subordonat şi unei legi diferite de legea dinamică. Pe scurt, legea statistică nu există în afara legii dinamice. Ea poate fi privită, într-un anumit sens, ca un ansamblu de legi dinamice, dar ea nu este suma acestor legi, nu este simpla lor rezultantă. Legea statistică exprimă necesitatea, legătura necesară, proprie tuturor fenomenelor care intră într-un ansamblu statistic, în abaterile şi prin abaterile de la această necesitate. Parafrazînd cuvintele lui Marx despre legile societăţii capitaliste, se poate spune că legea statistică nu se realizează decît ca o tendinţă dominantă, ca o necesitate care-şi croieşte drum prin masa de întîmplări şi care se manifestă în aceste întîmplări, ca o medie a unor abateri întîmplătoare numeroase. În cazul unui număr mai mare de fenomene, apar mai clar

[1] S. I. Vavilov, *Filosofskie problemî sovremennoi fiziki*, în *Filosofskie voprosî sovremennoi fiziki*, p. 24.

[2] Vezi, de exemplu, E. Schrödinger, *Ce este viaţa*, M., 1947, p. 115.



caracterele specifice proprii tuturor fenomenelor cuprinse în ansamblul statistic, adică proprietăţile care sînt esenţiale pentru ansamblul dat, care se exprimă cantitativ prin medii statistice şi a căror cercetare duce la legi statistice. Dimpotrivă, în cazul unui număr mai mic de fenomene, caracterele specifice apar cu mai puţină claritate şi cu mai multă claritate apar proprietăţile ce caracterizează fenomenele luate separat, adică proprietăţile care sînt neesenţiale, întîmplătoare pentru ansamblul considerat, proprietăţile prin care se realizează caracterele specifice. Fiecare fenomen este un rezultat al acţiunii unor cauze numeroase. Pentru un ansamblu statistic dat, sînt esenţiale proprietăţile care determină caracterele specifice ale fenomenelor. În schimb, cauzele care determină proprietăţile fenomenelor în parte sînt cauze întîmplătoare pentru ansamblul dat; cu cît mai mică este influenţa cauzelor întîmplătoare asupra ansamblului considerat, cu atît sînt mai mici şi abaterile mărimilor individuale respective de la mediile corespunzătoare. Teoria statistică a domeniului de fenomene fizice corespunzător oferă cercetătorului tot ce este necesar pentru a ţine seama, la deducerea afirmaţiilor statistice, de influenţa cauzelor întîmplătoare.

Aşadar, rezolvarea problemei raportului dintre legea statistică şi cea dinamică se reduce la recunoaşterea unităţii legii statistice şi a celei dinamice, a inseparabilităţii primei de a doua. În afară acestei unităţi, nu putem înţelege legea statistică, nu putem vedea că legea statistică, la fel ca şi cea dinamică, exprimă o legătură intrinsecă necesară între fenomenele fizice.

Pe de altă parte, nu putem rezolva corect problema legii dinamice, în afara unităţii ei cu legea statistică. Acest lucru poate fi arătat în exemplul căii pe care se ajunge în fizică la cunoaşterea unei legi dinamice. O astfel de lege are de-a face cu mărimi fizice, în rezultatele măsurării cărora nu se reflectă numai mărimea măsurată, dar şi abaterile de la valoarea ei adevărată, care însoţesc măsurarea mărimii în condiţiile date. De aceea, în cazul unor măsurători multiple ale aceleiaşi mărimi, repetate cu toată meticulozitatea, cu ajutorul aceluiaşi aparat suficient de sensibil şi al unei singure metode de măsură, se obţin întotdeauna valori numerice mai mult sau mai puţin deosebite ale acestei mărimi. Care este însă valoarea adevărată a mărimii măsurate? Aplicat procesului de măsurare, calculul probabilităţilor dă un răspuns la această întrebare. Un număr suficient de mare de rezultate ale măsurării multiple a unei mărimi fizice formează un ansamblu

statistic. Media acestor rezultate este valoarea cea mai adevărată a mărimii măsurate, deoarece în ea nu sînt exprimate particularităţile măsurătorilor individuale, care apar în virtutea unor cauze întîmplătoare pentru măsurare, ci este exprimată însăşi operaţia de măsurare, căreia îi este supusă mărimea. Aşadar, la măsurarea mărimilor fizice, necesară pentru stabilirea unei legi dinamice, analiza teoretică, care presupune recunoaşterea legităţilor statistice, urmăreşte ca o umbră procedeul de măsurare şi ajută la stabilirea acestei legi. Prin urmare, legea statistică şi cea dinamică propriu-zisă sînt inseparabile. Ele sînt unice şi totodată diferite una de cealaltă, asemănător întîmplării şi necesităţii interne, multiplului şi unicului, discretului şi a continuului. Ele pot fi despărţite numai în procesul cercetării teoretice. De aceea, opunerea lor sau reducerea uneia la cealaltă se află în contradicţie cu înţelegerea naturii aşa cum este ea în realitate.

În încheiere, să dăm cîteva exemple care ilustrează consideraţiile noastre despre legile statistice şi cele dinamice.

Fizica statistică şi termodinamica sînt inseparabile, întrucît fizica statistică (care se bazează pe aplicarea calculului probabilităţilor la studiul corpurilor formate dintr-un număr imens de particule) permite să deducem legile termodinamicii. Energia medie a unui sistem macroscopic, calculată în conformitate cu principiile mecanicii statistice, este identică cu energia internă din termodinamică.

Pe baza statisticii Boltzmann (care consideră, după cum se ştie, moleculele în mişcare drept corpuscule macroscopice în mişcare), au fost deduse aşa-numitele legi clasice de distribuţie a energiei în gazele perfecte, confirmate de experienţă pentru gazele monoatomice. Cum am arătat însă, fiind aplicată electronilor dintr-un metal, statistica Boltzmann nu dă rezultate corecte, după cum, fiind aplicată fotonilor radiaţiei corpului negru, ea a dat formula lui Wien, confirmată experimental numai pentru porţiunea de unde scurte a spectrului. De aici a rezultat posibilitatea ideii că comportarea electronilor şi fotonilor nu este subordonată mecanicii lui Newton, adică nici electronii şi nici fotonii nu sînt corpuri macroscopice în miniatură (după cum credea, de exemplu, Newton despre corpusculele luminoase).

Numai odată cu crearea teoriei cuantice au fost clarificate problemele din acest domeniu şi realizată în fizică ideea, esenţială în cazul de faţă, că microobiectele sînt subordonate unor alte legi decît obiectele macroscopice. Mecanica cuantică a introdus printre principiile ei fundamentale aşa-numitul principiu al



identităţii microobiectelor de aceeaşi specie, pe care nu l-a cunoscut la fizica clasică. Acest principiu duce la statistica Bose-Einstein, pe de o parte, şi la statistica Fermi-Dirac, pe de alta, a căror valabilitate a fost confirmată de experienţă.

Realizările noilor statistici fizice arată, în felul lor, că microobiectele se deosebesc din punct de vedere calitativ de obiectele macroscopice. În adevăr, în opoziţie cu fizica clasică (care priveşte particulele de aceeaşi specie care formează un sistem, ca fiind particule diferite), mecanica cuantică consideră, în virtutea principiului identităţii, că microobiectele de aceeaşi specie, de exemplu electronii care formează un sistem, sînt obiecte identice. În cazul de faţă nu este nicidecum vorba de faptul că, să zicem, doi electroni din acest sistem se consideră absolut identici. Dacă situaţia s-ar prezenta astfel, atunci cei doi electroni ar reprezenta acelaşi obiect, adică am ajunge la o absurditate; acest lucru este uşor de înţeles, deoarece obiectele absolut identice (ca şi obiectele absolut diferite) reprezintă abstracţiuni goale. Esenţa principiului identităţii microobiectelor stă în faptul că orice electron dintr-un sistem de electroni (acest lucru este valabil şi pentru orice microobiecte de acelaşi gen) nu este individual, de sine stătător şi deci nu poate fi distins de alţi electroni, de alte obiecte. Renunţarea la noţiunea de individualitate în privinţa microobiectelor de aceeaşi specie presupune, în fond, recunoaşterea naturii corpuscular-ondulatorii a microobiectelor şi poate fi înţeleasă corect numai de pe aceste poziţii. De ce electronii care formează un sistem îşi pierd individualitatea, independenţa, de ce stările ansamblului de electroni sînt astfel încît nu se poate vorbi decît de starea întregului ansamblu, ca un tot, iar nu despre stările individuale ale electronilor? Acest lucru este explicat prin faptul că electronii au proprietăţi ondulatorii: pachetele de unde care corespund, de exemplu, primului şi celui de-al doilea electron, se răsfiră pe măsură ce trece timpul, se suprapun, şi, atunci cînd cercetăm regiunea acestei „suprapuneri" şi descoperim un electron, nu mai putem spune dacă acesta este primul electron sau al doilea[1]. Ideea că baza fizică a noilor teorii statistice este ipoteza proprietăţilor ondulatorii ale microparticulelor a fost subliniată, relativ la statistica Bose-Einstein, de către I. E. Tamm[2].

[1] Acest exemplu a fost luat din articolul lui D. I. Blohinţev, *Elementarnîe ceastiţî i vole*, UFN, vol. XLII, fasc. 1, 1950, p. 80.

[2] Vezi I. E. Tamm, *Noviie prinţipî statisticeskoi mehaniki Bose-Einsteina v sveazi s voprosom o fiziceskoi prirodî*, UFN, vol. VI, fasc. 2, 1926.

Pe principiul identităţii microobiectelor, s-a bazat Langevin, demascînd, aşa cum s-a exprimat el, „desfrîul intelectual" al şcolii de la Copenhaga şi al altor şcoli fizice idealiste. Langevin a arătat că introducerea arbitrară în domeniul microfenomenelor a noţiunii de individualitate, care este corectă pentru fizica clasică, a dus la dificultăţi în dezvoltarea mecanacii cuantice. El vedea în mod just ieşirea din aceste dificultăţi în punerea în evidenţă a particularităţilor microobiectelor[1].

Aşadar, particularităţile statisticilor fizice noi îşi găsesc o bază reală în particularităţile obiectelor cărora ele li se aplică. Problema stă tocmai în a pune în evidenţă caracterul acestor particularităţi. Mecanica cuantică a rezolvat această problemă numai pe jumătate, dacă ne putem exprima astfel. Anume, mecanica cuantică a făcut numai primul pas pe calea sintezei reprezentărilor corpusculare şi ondulatorii, care corespunde dialecticii discretului şi a continuului în fenomenele fizice. În mecanica cuantică, noţiunile corpusculare figurează într-o formă explicită. Funcţia de undă permite, de exemplu, să se calculeze probabilităţile evenimentelor corpusculare, iar drept argument figurează în ea coordonata particulei etc. Aşadar, ecuaţiile şi noţiunile mecanicii cuantice reflectă proprietăţile corpuscular-ondulatorii ale obiectelor sub formă de reprezentări corpusculare. Această trăsătură a mecanicii cuantice a fost ridicată de şcolile idealiste din fizică la rangul de absolut: mişcarea unei particule este guvernată de legi speciale pur probabiliste, electronul are liber arbitru etc.

Mecanica microobiectelor trebuie dezvoltată şi sub aspectul ei ondulatoriu, ea trebuie să pornească de la recunoaşterea faptului că microobiectele au proprietăţi ondulatorii reale, legate indisolubil de cele corpusculare. După cum se ştie, interpretarea ondulatorie a mecanicii microobiectelor a fost iniţiată de către de Broglie, însă dezvoltarea ulterioară a micromecanicii s-a desfăşurat din nou pe vechiul făgaş corpuscular al lui Bohr; în acelaşi timp, concepţia complementarităţii a înglobat în concepţiile corpusculare o semnificaţie străină mecanicii clasice şi obscură din punct de vedere fizic. Nereuşita încercării iniţiale a lui de Broglie de a da o interpretare ondulatorie pentru mecanica fenomenelor atomice, nereuşită explicabilă prin cauzele despre care s-a vorbit mai sus, nu înseamnă nicidecum că ştiinţa nu va reveni niciodată, pe o bază nouă, la interpretarea ondulatorie a microobiectelor, ţinînd seama de plusurile şi de minusurile dezvoltării ei istorice. Un astfel de moment pare să fi venit. Trebuie să considerăm că dezvoltarea micromecanicii sub acest aspect va influenţa în mod favorabil şi conţinutul mecanicii cuantice relativiste, care se constituie actualmente (se pare că nu este o întîmplare faptul că deducerea cunoscutului postulat al lui de Broglie se datoreşte unor consideraţii bazate pe teoria relativităţii).

[1] P. Langevin, *Opere alese*, p. 364 şi urm.



### 3. Determinismul şi cauzalitatea în mecanica cuantică

In unul dintre articolele sale cele mai recente, consacrat „noţiunilor de cauzalitate şi de complementaritate", pe care l-am citat de numeroase ori[1], Bohr revine la tezele fundamentale din lucrările sale asupra mecanicii cuantice. După Bohr, efectele cuantice „sînt incompatibile cu însăşi ideea de cauzalitate". După el, rezultă că prezenţa proprietăţilor corpusculare şi ondulatorii ale obiectelor atomice ar cere „o revizuire radicală a înseşi bazelor descrierii şi explicării fenomenelor fizice". Ce înseamnă pentru Bohr această „revizuire radicală"? Dacă, în fizica clasică, explicaţia presupune recunoaşterea unui obiect care există în spaţiu şi în timp şi este subordonat legii cauzalităţii, în mecanica cuantică, „descrierea şi explicarea fenomenelor fizice" se bazează pe „complementaritate". Aceasta din urmă reprezintă o descriere „acauzală" a fenomenelor, fenomenul însuşi nefiind privit ca ceva obiectiv, ci ca referitor „numai la observaţie"[2].

După cum se ştie, o expunere sistematică a mecanicii cuantice în conformitate cu idei de acest fel este dată în cartea lui Heisenberg „Principiile fizice ale teoriei cuantice", în care se formulează clar că datorită influenţei necontrolabile a aparatului asupra obiectului atomic „descrierea în spaţiu şi în timp" şi „descrierea cauzală" se exclud reciproc în mecanica cuantică şi concordă numai în fizica clasică[3].

Cele spuse mai sus ne permit să vedem clar erorile idealiste ale concepţiei complementarităţii în problema cauzalităţii.

Punctul de vedere asupra spaţiului, timpului, cauzalităţii, dezvoltat în conformitate cu principiul complementarităţii este un idealism de cea mai pură esenţă. De altfel, acest lucru este uşor de înţeles, deoarece concepţiile lui Bohr şi Heisenberg asupra

[1] N. Bohr, „Dialectica", 1948, 7/8.
[2] *Ibidem*, p. 317.
[3] Vezi W. Heisenberg, *Principiile fizice ale teoriei cuantice*, p. 52.

mecanicii cuantice s-au dezvoltat, după cum se ştie, pe baza filozofică a pozitivismului. Pentru şcoala de la Copenhaga, realitatea nu este lumea obiectivă, care există independent de fizician, ci „cele observate" sau „cele măsurate" de fizician; pentru Bohr şi Heisenberg, spaţiul, timpul, cauzalitatea nu sînt forme de existenţă ale lumii obiective, ci forme subiective de descriere a „observabilului", create de subiect de dragul „comodităţii".

După cum am arătat în capitolul II, celebra „necontrolabilitate", această idee berkeleyană din teoria cuantică, duce tocmai la afirmaţia că mişcarea unui electron nu poate fi, în principiu, caracterizată altfel decît prin intermediul probabilităţii, adică prin „liberul arbitru", al electronului, fapt asupra căruia ne vom opri mai departe.

Oare măsurarea în teoria cuantică se deosebeşte în adevăr de măsurarea în fizica clasică prin aceea că, în domeniul cuantic, ar exista „necontrolabilitate"? Am analizat această problemă în capitolele II şi IV, însă aici este necesar să o cercetăm în planul subiectului capitolului de faţă.

Să folosim vechile noastre exemple. Dacă se cere să măsurăm precis, cu ajutorul termometrului, temperatura unui corp, atunci este necesar să ţinem seama de faptul că temperatura corpului se va schimba datorită adăugării la el a termometrului şi că deci termometrul nu va indica temperatura corpului, ci temperatura modificată. Însă, pe baza indicaţiilor termometrului, utilizînd teoria fenomenelor termice, putem trage concluzii asupra temperaturii corpului înainte de a-i fi adăugat termometrul.

Să trecem la mecanica cuantică. Să presupunem că un flux de electroni trece printr-un aparat, de exemplu, printr-o reţea de difracţie, şi că deci electronii care au trecut se transformă într-un nou ansamblu. Pe baza datelor furnizate de reţeaua de difracţie, pe baza imaginii de difracţie, utilizînd teoria cuantică, putem emite aprecieri despre ansamblul iniţial. Şi în cazul de faţă, asemănător cazului măsurării în fizica clasică, modificarea ansamblului de microobiecte care au trecut prin aparat nu înseamnă nicidecum că se schimbă întregul ansamblu cercetat: microobiectele care au trecut prin aparat nu formează decît o mică parte din întregul ansamblu şi modificarea acestei părţi lasă ansamblul practic neatins.

Aşadar, modificările pe care le suferă obiectele care interacţionează cu aparatul în procesul de măsurare nu ne împiedică nicidecum să obţinem, cu ajutorul aparatului, informaţii privitoare



la obiecte înaintea interacţiei lor cu aparatul. Acest lucru este valabil şi pentru fizica clasică şi pentru teoria cuantică, şi în general pentru orice teorie fizică corectă, deoarece faptul că ştim despre modificarea obiectului, care se produce în urma interacţiei aparatului cu obiectul (această cunoaştere se bazează pe indicaţiile aparatului), ne permite să tragem concluzia că ne putem face o idee despre obiect înainte de modificarea lui şi independent de ea.

S-ar părea că, în consideraţiile noastre despre măsurare în fizica clasică şi în teoria cuantică, ar fi vorba de lucruri diferite. În exemplul din fizica clasică, este vorba de o singură interacţie a aparatului şi a obiectului, iar în exemplul din mecanica cuantică, despre o serie de interacţii ale apartului cu microobiectul. Însă în fizica clasică, interacţia aparatului cu obiectul macroscopic poate fi repetată de multe ori, adică, în fizica clasică, poate fi format ansamblul statistic al interacţiilor repetate şi deci datele despre mărimile care caracterizează microobiectele pot fi exprimate cu ajutorul calculului probabilităţilor. Esenţialul constă, în cazul de faţă, în faptul că, pentru ansamblul interacţiilor repetate cu macroobiectul, împrăştierile vitezei şi coordonatei pot fi simultan nule (ansamblu clasic), în timp ce, pentru ansamblul cuantic, acest lucru este imposibil.

Din cele spuse, rezultă că modificările pe care le suferă obiectul în interacţia cu aparatul nu au nici o legătură cu deosebirea dintre ansamblul cuantic şi cel clasic. Nu există o influenţă „necontrolabilă" a aparatului asupra obiectului. Mecanica cuantică nu exclude de loc posibilitatea de a obţine judecăţi nestatistice asupra comportării unui obiect atomic, deşi, prin conţinutul ei teoretic, ea nu poate rezolva această problemă.

La ce revine baza, sau cauza, statisticităţii mecanicii cuantice sau a statisticităţii cuantice? După Bohr-Heisenberg, ea revine, cum am văzut, la interacţia necontrolabilă a aparatului cu obiectul atomic, care s-ar exprima în relaţia de nedeterminare, adică, după Bohr, „necontrolabilitatea" ar fi cea care duce la statisticitatea principială a comportării unui microobiect individual, adică la indeterminismul în fenomenele atomice. Dar „necontrolabilitatea" lui Bohr nu există şi, prin urmare, cade teza greşită, care duce la recunoaşterea indeterminismului: de a vedea baza statisticităţii cuantice în interacţia necontrolabilă a aparatului macroscopic cu microobiectul.

După părerea lui I. I. Frenkel, exprimată în cartea „Mecanica ondulatorie" (1934), baza statisticității cuantice ar sta în faptul că în înseşi fenomenele atomice există un indeterminism, anume imposibilitatea de a stabili simultan coordonata şi impulsul particulei. El critică „necontrolabilitatea" lui Bohr-Heisenberg, menţionînd că ea nu duce la indeterminism, ci îl face să apară[1]. De altfel, după Frenkel, o astfel de mecanică indeterministă nu este decît una din interpretările posibile ale fenomenelor fizice, dacă ele sînt considerate din punct de vedere corpuscular. Fenomenele fizice pot fi privite şi din punct de vedere ondulatoriu; atunci pentru ele se păstrează — după Frenkel — determinismul. Cu toate diferitele abateri (asupra cărora nu ne vom opri), aceste idei ale lui I. I. Frenkel se alătură tratării idealiste a mecanicii cuantice în spiritul lui Reichenbach, la analiza căreia vom trece acum.

Spre deosebire de Heisenberg, care consideră că principiul nedeterminării face ca, în lumea atomică, să nu existe cauzalitate, Reichenbach admite posibilitatea de a introduce cauzalitatea în domeniul fenomenelor atomice. După Reichenbach, aceasta se face prin interpolare în limitele celor ce se observă, aşa cum un matematician găseşte o valoare intermediară necunoscută a unei mărimi variabile în limitele valorilor cunoscute ale aceleiaşi mărimi. De altfel, ar rezulta că această „completare cauzală posibilă a observabilului" nu există totuşi, în mecanica cuantică, adică fără a fi „de acord" cu Heisenberg şi „precizîndu-l", Reichenbach „demonstrează" totodată că, în realitate, „principiul cauzalităţii nu este compatibil în nici un sens cu fizica cuantică"[2].

În ce constă, după Reichenbach, baza statisticităţii cuantice ? Pentru a găsi baza statisticităţii cuantice, Reichenbach adaugă la principiul nedeterminării un principiu nou, denumit de el „principiul anomaliei cauzale"; el susţine că nici interpretarea corpusculară şi nici cea ondulatorie a celor observate în lumea atomului nu pot fi efectuate astfel încît să fie satisfăcut principiul cauzalităţii. Cu alte cuvinte, după Reichenbach, dacă în domeniul fizicii clasice cauzalitatea există, ca o „completare la statisticitatea observabilă", în mecanica cuantică o asemenea „completare" nu există.

[1] Vezi I. I. Frenkel, *Volnovaia mehanika*, vol. I, p. 72. În ultimele sale lucrări, I. I. Frenkel şi-a revizuit, în multe privinţe, poziţiile; vezi articolele sale din UFN, vol. XLII, fasc. 1, 1950; vol. XLIV, fasc. 1, 1951.

[2] H. Reichenbach, *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*, p. 5.



Nu prezintă un interes deosebit să analizăm în amănunt problema recunoaşterii de către idealistul Reichenbach a cauzalităţii în fizica clasică şi a nerecunoaşterii ei în mecanica cuantică. Însă este necesar să ne oprim la felul în care analizează Reichenbach anumite experimente mintale, deoarece aici apare clar modul în care idealismul foloseşte nepriceperea fizicienilor de a o scoate la capăt cu dialectica undă-corpuscul în domeniul fenomenelor atomice, pentru a lupta împotriva materialismului în mecanica cuantică.

Să presupunem, că, printr-o diafragmă cu o singură deschidere, ajung la un ecran electroni emişi succesiv. Atunci, dacă experimentul durează scurt timp, pe ecran apar, în anumite locuri, scînteieri. Dacă durata experimentului devine mare, atunci numărul acestor scînteieri dezordonate creşte şi distribuţia lor formează o imagine de difracţie.

Să presupunem că, printr-o diafragmă cu două deschideri, ajunge pe un ecran un flux de electroni rarefiat, analog cu fluxul de electroni din primul experiment. Dacă experimentul durează scurt timp, atunci pe ecran apar scînteieri izolate. Dacă durata experimentului creşte, atunci pe ecran apare o figură de interferenţă caracteristică, ale cărei franje luminoase cuprind locurile scînteierilor izolate, care apar în experimentul de scurtă durată. Imaginea de difracţie şi figura de interferenţă, produsă de două deschideri, nu se reduc la suma imaginilor pe care le dă fiecare deschidere în parte; putem arăta acest lucru închizînd şi deschizînd la trecerea electronilor cînd o deschidere, cînd cealaltă.

Cum să explicăm rezultatele acestor experimente ? Reichenbach denumeşte scînteierile observate pe ecran „fenomene" şi se întreabă : ce fel de interfenomene pot fi introduse aici prin metoda interpolării, cu ajutorul căror fenomene „inobservabile", admise de deducţia logică, putem interpreta fenomenele ?

Dacă aplicăm interpretarea corpusculară, adică dacă considerăm că electronii sînt corpuscule, atunci, afirmă Reichenbach, în primul experiment, descrierea reprezintă un „sistem normal", adică verifică principiul cauzalităţii, deoarece aici fenomenele şi interfenomenele sînt guvernate de aceleaşi legi. Dacă, continuă Reichenbach, interpretarea corpusculară este aplicată datelor celui de-al doilea experiment, atunci obţinem altceva: în acest

caz, fenomenele şi interfenomenele sînt guvernate de legi diferite (închiderea orificiului la momentul în care electronul-corpuscul trece prin celălalt orificiu influenţează distribuţia scînteierilor, dar nu influenţează distribuţia punctelor în care cad corpusculele-fenomene), adică interpretarea corpusculară a celui de-al doilea experiment nu reprezintă un sistem normal şi nu verifică principiul cauzalităţii.

Să presupunem, raţionează Reichenbach, că aplicăm interpretarea ondulatorie. După părerea sa, cu privire la primul experiment, această interpretare reprezintă un sistem anormal, adică nu verifică principiul cauzalităţii, deoarece electronii-unde, care au trecut prin deschidere, nu sînt subordonaţi aceloraşi legi cărora le sînt subordonate undele observate : primii dau scînteieri, iar undele observabile acoperă o suprafaţă. Cu privire la al doilea experiment, interpretarea ondulatorie este, după părerea lui Reichenbach, liberă de „anomaliile cauzale", dacă introducem noţiunea aşa-numitelor „unde bicanale".

Din aceste consideraţii ale neomachistului Reichenbach, reiese clar în ce mod sofistic „fundează" urmaşii moderni ai lui Mach înţelegerea lor a naturii fără legităţi obiective. Pentru aceasta, teoria fizică nu este privită ca o reflectare a realităţii obiective, ci numai ca un mijloc pentru o anumită sistematizare a observabilului. Exemplul lui Reichenbach ne permite să urmărim cum încearcă idealismul să desfiinţeze dialectica vie a existenţei, cum încurcă el problemele fizicii şi cum caută argumente „noi", pentru a submina materialismul cu teoria sa a cauzalităţii. Ce rezultă, în realitate, din experimentele descrise mai sus?

Din aceste experimente nu rezultă decît că problemele mecanicii cuantice pot fi rezolvate corect dacă pornim de pe poziţia că proprietăţile corpusculare ale obiectelor sînt inseparabil legate de proprietăţile lor ondulatorii. Metafizicianul ajustează fenomenele atomice la concepţia abstract-corpusculară sau la cea abstract-ondulatorie, care s-a justificat cu aplicare la anumite fenomene macroscopice, adică admite ca fiind demonstrat ceea ce nu este încă demonstrat, iar apoi se miră că fenomenele atomice nu se încadrează nici în schema corpusculară şi nici în cea ondulatorie, şi caută o ieşire în tot felul de construcţii idealiste. Adevărul stă, în cazul de faţă în depăşirea unilateralităţii ambelor concepţii.

Ideea inseparabilităţii proprietăţilor corpusculare şi ondulatorii ale microobiectelor este ilustrată în experimentele despre



care a fost vorba mai sus. În primul experiment, natura corpusculară a electronilor este arătată de caracterul statistic dezordonat al scînteierilor. Dar, în acelaşi timp, scînteierile nu se observă decît în locurile inelelor luminoase, inelele întunecate rămîn întotdeauna întunecate : aceasta dovedeşte natura ondulatorie a electronilor în mişcare. Aşadar, acest experiment dă un tablou intuitiv al naturii duale, corpuscular-ondulatorii a fenomenelor electronice.

Despre acelaşi lucru, dar într-o formă şi mai pregnantă, ne vorbeşte al doilea experiment, cu două deschideri. În acesta, natura corpuscular-ondulatorie a fenomenelor electronice rezultă din figura de interferenţă în care, în locurile franjelor luminoase, se observă scînteieri dezordonate, în timp ce franjele întunecate rămîn tot timpul întunecate.

În ultimii ani, a început să crească tot mai mult numărul oamenilor de ştiinţă din străinătate care se pronunţă împotriva subiectivismului şi a indeterminismului şcolii de la Copenhaga. Numele lui L. de Broglie, autorul celebrei idei despre proprietăţile ondulatorii ale materiei, al fizicianului american D. Bohm, al fizicianului francez J. P. Vigier, al fizicianului maghiar L. Jánossy şi numele multor altor fizicieni, care au propus determinismul ca principiu conducător al ideilor teoriei cuantice, ne arată că dominaţia concepţiilor şcolii de la Copenhaga în fizica din străinătate este subminată în mod serios. Marele fizician al epocii noastre A. Einstein s-a ridicat împotriva indeterminismului şcolii de la Copenhaga, încă din momentul apariţiei concepţiei complementarităţii. L. de Broglie subliniază că fizicianul rămîne în mod instinctiv un „realist" şi „va fi fericit să scape" de interpretarea dată mecanicii cuantice de către şcoala de la Copenhaga, cu „negarea existenţei unei realităţi fizice independente de observator", cu atît mai mult cu cît poate că, pe baza concepţiilor noi, se va putea crea o teorie satisfăcătoare a fenomenelor la scară nucleară[1].

Un materialist nu poate decît să sprijine aceste luări de poziţie, însă trebuie să observăm că problema de a da, după cuvintele lui de Broglie, o expunere a mecanicii cuantice într-o formă concretă şi deterministă poate fi rezolvată numai pe baza materialismului dialectic.

[1] Vezi L. de Broglie, *La Physique quantique restera-t-elle indéterministe?* pp. V—VII.

Este oare satisfăcută ultima condiţie în cazul ideilor lui de Broglie sau Bohm şi ale fizicienilor care-i urmează? De Broglie atrage atenţia asupra faptului că aceste idei trebuie aprofundate; însă în forma în care au fost exprimate, ele nu sînt libere de unilateralităţile materialismului *mecanicist*. Acest lucru rezultă, în particular, din felul în care oamenii de ştiinţă citaţi rezolvă problema întemeierii statisticităţii cuantice.

Astfel, Bohm îşi închipuie electronul ca pe o particulă cu proprietăţi exact determinabile, înconjurat de un cîmp ondulatoriu (exact determinabil), care acţionează asupra particulei. În afară de forţele „clasice" cu care cîmpul acţionează asupra particulei, Bohm mai admite şi existenţa unei forţe cuantice specifice, care acţionează din partea cîmpului asupra particulelor (aşa-numitul „potenţial cuantic"). În conformitate cu aceste idei ale lui Bohm, particula se mişcă pe o traiectorie şi îi sînt proprii simultan şi un impuls şi coordonate; acestea sînt parametrii ascunşi. Însă din cauza interacţiilor haotice practic inevitabile ale electronului cu diferite sisteme „clasice" (pereţii vasului, părţile aparatului de măsură etc.), apar oscilaţii extrem de intense şi rapide ale potenţialului cuantic, iar acestea provoacă variaţii atît de rapide şi de dezordonate ale parametrilor ascunşi, încît practic nu le putem urmări. De aceea, deşi în principiu putem măsura oricît de precis parametrii ascunşi, practic revenim la relaţia de nedeterminare în interpretarea şcolii de la Copenhaga.

Bohm dă, aşadar, o interpretare cauzală a mecanicii cuantice, pe calea concepţiilor fizicii clasice. Problema explicării statisticităţii cuantice nu poate fi rezolvată pe baza determinismului mecanic, după cum insistă în fond Bohm, deoarece este greşit să considerăm microobiectele, pornind de la diferite concepţii clasice.

În literatura contemporană, este dezvoltat un punct de vedere, în conformitate cu care particulele capătă proprietăţile unui cîmp, iar cîmpul însuşi este reprezentat ca ceva care posedă trăsături proprii formaţiilor corpusculare, adică împărţirea în particule şi în cîmpuri continue, adoptată în fizica clasică, nu are o valoare absolută şi devine relativă. Acest punct de vedere este expus în lucrările lui D. I. Blohinţev, consacrate problemelor teoriei cîmpului cuantic[1].

[1] Vezi D. I. Blohinţev, UFN, vol. XLII, fasc. 1, 1950, şi vol. XLV, fasc. 2, 1951, precum şi în culegerea *Filosofskie voprosî sovremennoi fiziki.*



În conformitate cu aceste idei, baza statisticităţii cuantice rezidă în faptul că microobiectele au proprietăţi corpuscular-ondulatorii inseparabile. Aceste proprietăţi îşi găsesc o expresie în particularităţile ansamblului cuantic, care-l deosebesc de ansamblul clasic.

Cum se prezintă problema cauzalităţii în domeniul fenomenelor atomice, în legătură cu recunoaşterea faptului că microobiectele au proprietăţi corpusculare şi ondulatorii inseparabile? Problemele corespunzătoare sînt studiate în fizică de către oameni de ştiinţă sovietici şi străini. În legătură cu aceasta, menţionăm articolele lui D. I. Blohinţev şi I. I. Frenkel asupra teoriei cîmpului, publicate în „Uspehi fiziceskih nauk", în anii 1950 şi 1951.

I. I. Frenkel subliniază, în special, că fizicienii care dezvoltă concepţii idealiste, interpretînd în mod greşit rolul observatorului în legătură cu acţiunea sa asupra obiectului cercetat, ridică indeterminismul la rangul unei baze principiale a mecanicii cuantice. Acest indeterminism este condiţionat, după cum se ştie, de faptul că Bohr şi Heisenberg susţin în mecanica cuantică ideea interacţiei necontrolabile a obiectelor atomice cu aparatele de măsură. I. I. Frenkel dezvoltă ideea că obiectele microfizicii nu sînt particule, ci cîmpuri cuantificate, adică entităţi continue în spaţiu şi în timp, a căror acţiune se manifestă sub formă de efecte discrete, pe care le reprezentăm sub formă de particule. Teoria cuantică a cîmpului este o teorie deterministă.

Particulele şi cîmpul se leagă şi de concepţia ansamblelor cuantice, dezvoltate de D. I. Blohinţev. După cum se ştie, pe baza concepţiei ansamblelor cuantice, a fost pusă în evidenţă esenţa idealistă a concepţiei complementarităţii, împreună cu teza ei cea mai importantă asupra comportării indeterministe a unui microobiect. Concepţia ansamblelor cuantice a subliniat necesitatea singurei tratări corecte a cercetării fenomenelor atomice, care presupune existenţa lor obiectivă şi a respins tratarea în fond subiectivistă, „instrumentală" a concepţiei complementarităţii. Totodată, observînd că legile mişcării obiectelor atomice sînt cunoscute pe baza unor reprezentări statistice, concepţia ansamblelor apropie fizica de problema de a da o teorie a procesului atomic individual, o teorie nestatistică a microfenomenelor. În aceasta constă unul dintre aspectele progresiste ale acestei teorii, care o deosebeşte în mod radical de concepţia complementarităţii, care încearcă să transforme principiul indeterminismului în bază a legilor statistice specifice mecanicii cuantice.

Însă în conținutul mecanicii cuantice, dezvoltată în conformitate cu ideea ansamblelor de către D. I. Blohințev, nu este reflectată destul de complet posibilitatea reală de a construi o teorie a proceselor atomice individuale. De exemplu, D. I. Blohințev nu vede baza statisticității cuantice în proprietățile corpuscular-ondulatorii inseparabile ale obiectelor din care este constituit ansamblul cuantic, ci în legătura dintre fenomenele microscopice și cele macroscopice, în legătura indisolubilă a obiectelor microscopice cu cele macroscopice[1].

În cazul de față, D. I. Blohințev aduce pe primul plan concepțiile corpusculare. De altfel, după Blohințev, concepția ansamblelor nici nu poate proceda altfel, deoarece mecanica cuantică, respingînd legile corpusculare de mișcare ale particulelor „nu face decît un prim pas pe calea stabilirii unei legături între cîmp și particulă, într-o direcție absolut neprevăzută de fizica clasică"[2].

Însă dacă mecanica cuantică „nu face decît un prim pas" etc., atunci este de neînțeles de ce baza statisticității cuantice rezidă în legătura indisolubilă a fenomenelor microscopice cu cele macroscopice. În paragraful 3 al cap. II, am analizat afirmația lui D. I. Blohințev, că baza statisticității cuantice rezidă în legătura dintre fenomenele microscopice și cele macroscopice; din punctul nostru de vedere, cu această afirmație nu se poate cădea de acord. Subliniem, încă o dată, că particularitatea distinctivă a ansamblului cuantic, sau baza statisticității cuantice, stă în inseparabilitatea proprietăților corpusculare și ondulatorii ale microobiectelor care formează ansamblul cuantic.

Mecanica cuantică este o teorie statistică, dar înseamnă aceasta oare că comportarea unui microobiect este în principiu statistică ?

Pentru a răspunde la această întrebare, trebuie să ținem seama de specificul concepțiilor statistice ale mecanicii cuantice, care le deosebește de concepțiile statistice ale fizicii clasice. Teoriile statistice clasice din fizică au la bază mecanica clasică, care este, după cum se știe, o teorie a fenomenelor individuale. Așa-numita statistică cuantică (statisticile Bose-Einstein și Fermi-Dirac) are drept bază mecanica cuantică, adică pentru statistica cuantică este caracteristică o statistică dublă, întrucît mecanica cuantică este o teorie statistică. Din toate acestea, rezultă că

[1] Vezi D. I. Blohințev, UFN, vol. XLV, fasc. 2, 1951, p. 210.
[2] *Ibidem*, vol. XLII, fasc. 1, 1950, p. 78.



întrebarea dacă o teorie individuală a proceselor atomice este sau nu posibilă din punctul de vedere al concepțiilor cuantice rămîne deschisă și se rezolvă în funcție de răspunsul la întrebarea : sînt sau nu supuse fenomenele atomice individuale unor legi dinamice ?

Deși statistica cuantică este o teorie statistică într-un dublu sens, deși mecanica cuantică este o teorie statistică, fenomenele atomice individuale există și, prin urmare, există legi ale acestor fenomene, care, după cum am arătat în paragraful 3, nu pot fi decît legi dinamice. Din faptul că statisticitatea mecanicii cuantice nu se aseamănă cu statisticitatea care ne este cunoscută pe baza concepțiilor fizicii clasice, nu rezultă nicidecum că comportarea microobiectului este în principiu statistică, adică supusă întîmplării pure.

Concepția complementarității consideră că specificul statisticității cuantice este „strîns legat de imprecizia tuturor celor percepute" (Heisenberg) și, de aceea, pentru ea, cunoașterea statistică pe care o dă mecanica cuantică, reprezintă o limită absolută a cunoașterii legilor.

Fizicienii materialiști susțin o idee cu totul diferită. Fizica modernă nu cunoaște încă „modele" ale substanței și ale luminii care să aibă concomitent proprietatea unor unde regulate și a unui flux haotic de corpuscule, a subliniat S. I. Vavilov, după cum, în timpul descoperirii mișcării browniene, fizica nu știa încă de ce depinde dezordinea haotică a mișcării particulelor aflate în suspensie într-un lichid[1]. Atunci cînd această cunoaștere va fi realizată, se vor putea lămuri complet fundamentele statisticității cuantice și, prin aceasta, va putea fi depășită limita cunoașterii statistice, atinsă de teoria actuală a microfenomenelor.

Legile statistice ale fenomenelor ce apar în proporții de masă sînt organic legate de legile fenomenelor individuale. Dacă, în domeniul studiului fenomenelor macroscopice, a apărut la început mecanica clasică, ca o mecanică a particulelor individuale, iar apoi mecanica statistică, dezvoltarea teoriei microfenomenelor a urmat o altă cale : la început, a fost construită mecanica cuantică, ca o teorie statistică a microfenomenelor, iar problema unei teorii a proceselor atomice individuale a rămas deschisă. De ce se deosebește, în cazul de față, istoricul dezvoltării mecanicii macroscopice de istoricul dezvoltării celei micro-

[1] Vezi S. I. Vavilov, în culegerea *Filosofskie voprosî sovremennoi fiziki*, p. 27.

scopice? În ultimă instanţă, pentru că dacă ar fi să ne exprimăm în mod schematic, omul s-a ciocnit în activitatea sa practică, în primul rînd, de sistemele macroscopice, cu mulţimi imense de atomi, şi a ajuns să aibă de-a face cu microobiectele individuale abia mai tîrziu; necesităţile producţiei, şi în particular ale tehnicii, au determinat situaţia indicată a lucrurilor.

Şi în adevăr, experimentul fizic actual se ocupă de microobiecte individuale care îşi manifestă proprietăţile corpuscular-ondulatorii: experimentele vizuale ale lui S. I. Vavilov, în care se manifestă într-un mod deosebit de pregnant natura corpuscular-ondulatorie a luminii, experimentul lui L. Bibermann, N. Suşkin şi V. Fabrikant asupra difracţiei electronilor emişi succesiv reprezintă exemple de astfel de experimente. În acesta din urmă, experimentatorul are de-a face cu electroni individuali: o sursă de electroni de intensitate suficient de mică emite electroni care, trecînd cîte unul printr-un dispozitiv de difracţie, dau o imagine de difracţie, avînd acelaşi caracter ca şi imaginea de difracţie care se obţine cu fascicule de electroni de intensitate mare. Din punctul de vedere al mecanicii cuantice, acest experiment nu se deosebeşte prin nimic, în principiu, de exemplu, de experimentul lui Davisson şi Germer, cînd experimentatorul are de-a face cu o sursă de electroni de mare intensitate. Însă experimentul lui L. Bibermann, N. Suşkin şi V. Fabrikant îşi are particularităţile sale, a căror analiză prezintă un interes considerabil.

Este vorba de faptul că mecanica cuantică ne permite să calculăm numai probabilitatea diferitelor locuri în care electronul nimereşte pe ecran; însă electronii ajung într-un loc determinat al ecranului şi la un timp determinat după ce sursa de electroni a început să funcţioneze. Deci acţiunea sursei şi lovirea determinată a ecranului de către un electron sînt legate cauzal între ele: prin urmare cunoscîndu-le, vom putea rezolva, pe baza legilor corespunzătoare, problema de ce electronul a nimerit într-un anumit loc al ecranului şi nu în alt loc[1]. Atunci cînd fizica, descoperind legile corespunzătoare, va învăţa să rezolve problema, toate acestea nu vor însemna nicidecum că electronul este o particulă din mecanica clasică, că el se mişcă pe o traiectorie din mecanica clasică etc. În cazul de faţă, manifestarea comportării electronului nu se va deosebi aparent de manifestarea comportării (mişcării)

[1] Analiza acestei probleme este dată în articolul lui I. P. Terleţki, *Problemî razvitiia kvantovoi teorii*, în culegerea *Filosofskie voprosî sovremennoi fiziki*, p. 438 şi urm.



unei particule macroscopice, însă această lipsă de deosebire aparentă nu există decît în cadrul manifestărilor comportării electronului şi a particulei macroscopice, esenţele acestor manifestări fiind diferite, lucru pe care îl arată şi faptul că, la mişcările electronului din atom, nu poate fi aplicată mecanica clasică.

Legile microfenomenelor individuale nu au fost încă descoperite şi, de aceea, probleme de felul celor pe care le-am pus în legătură cu experimentul asupra difracţiei electronilor emişi succesiv nu pot fi deocamdată rezolvate. Din motive uşor de înţeles, mecanica cuantică nu le rezolvă; ele nu pot fi rezolvate nici de teoria cîmpului cuantic (cel puţin, în formele ei dezvoltate în prezent): în conformitate cu această teorie, combinarea concepţiilor ondulatorii şi corpusculare nu este posibilă decît pe baza calculului probabilităţilor.

Aşadar, mecanica microscopică se apropie de problema legilor fenomenelor individuale.

Va fi oare această problemă rezolvată în etapa prezentă a dezvoltării fizicii microfenomenelor? Este un lucru pe care nu-l putem spune încă într-un mod absolut sigur. S-ar putea ca teoria cuantică a cîmpului, cu teoria particulelor elementare, să fie construită independent de descoperirea legilor microfenomenelor individuale. S-ar putea ca construirea acestei teorii să ducă la rezolvarea problemei citate; sînt posibile şi alte situaţii.

Indiferent dacă dezvoltarea ulterioară a fizicii fenomenelor atomice va merge pe o anumită cale concretă, în toate cazurile este neîndoielnic că nici o problemă a fizicii atomice şi nucleare nu poate fi şi nu va putea fi rezolvată corect în afară şi independent de principiul determinismului. Printre încercările de eliminare a dificultăţilor teoriei cuantice a cîmpului, în etapa actuală a dezvoltării ei, merită o atenţie deosebită, din punctul de vedere al problemei cauzalităţii, ipoteza cuantificării spaţiului-timp, propusă de V. A. Ambarţumian şi D. D. Ivanenko şi legată de ideea existenţei posibile în natură a unei constante universale de tipul lungimii. Concepţiile fizice asupra spaţiului şi a timpului reflectă în mod corect spaţiul şi timpul obiectiv real, atunci cînd ele reflectă continuitatea şi totodată discontinuitatea spaţiului şi timpului. În interpretarea lor a spaţiului şi a timpului, teoriile clasice ale fizicii, teoria relativităţii şi chiar mecanica cuantică pun pe primul plan momentul continuităţii şi, de aceea, în acest sens, reflectările lor ale spaţiului şi timpului, care există în mod real şi obiectiv, nu pot fi suficient de complete. Teoria cuantică

a cîmpului duce de pe acum şi, trebuie să presupunem, va duce într-o şi mai mare măsură în viitor, la modificările concepţiilor fizice asupra spaţiului, timpului şi a proprietăţilor materiei. Aceste modificări influenţează în mod incontestabil şi vor influenţa mai tîrziu şi mai mult înţelegerea fizică a legităţii şi a necesităţii din natură: teoria cuantică a cîmpului face un nou pas pe calea cunoaşterii legităţii obiective a fenomenelor fizice.

În teoria cuantică a cîmpului, creată acum, figurează aşa-numita matrice de difuzie $S$, care reprezintă un operator aplicat funcţiei de undă $\Psi$ a unui sistem de cîmpuri cuantificate, care leagă valoarea acestei funcţii în trecutul îndepărtat $t = -\infty$ de valoarea ei in viitorul îndepărtat $t = +\infty$. Ecuaţia corespunzătoare $\Psi_{+\infty} = S\Psi_{-\infty}$ exprimă, în teoria cuantică a cîmpului, legătura necesară a fenomenelor studiate de ea. Succesele microfizicii, apropierea cunoaşterii de aşa-numitele particule elementare, atunci cînd este vorba de procese care se produc cu energii extrem de mari şi la distanţe foarte mici, toate aceste succese ale ştiinţei din timpurile noastre precum şi altele generează, în condiţiile ţărilor capitaliste, tendinţe reacţionare, care influenţează în mod negativ dezvoltarea fizicii.

Dezvoltînd în felul său teoria matricei $S$, Heisenberg propune să se renunţe în teoria cuantică a cîmpului, pentru domeniul spaţio-temporal de ordinul a $10^{-23}$ cm şi $10^{-24}$ s, la ecuaţia de tip ondulatoriu, care determină pe baza valorii funcţiei de undă la un moment dat valoarea ei la orice alt moment. Din punctul de vedere al acestor idei, transportul interacţiilor într-un astfel de domeniu spaţio-temporal se produce cu o viteză mai mare decît viteza luminii, iar prin aceasta se schimbă succesiunea evenimentelor în timp şi, după cum afirmă Heisenberg, se distruge, prin urmare, legătura dintre cauză şi efect. Fizicienii materialişti au arătat că analiza problemelor corespunzătoare ale teoriei cuantice a cîmpului, pe care a încercat să le rezolve Heisenberg, nu duce de loc la necesitatea de a găsi soluţia lor în sensul renunţării la cauzalitate în domeniul fenomenelor microscopice[1]. Dificultăţile teoriei cuantice moderne a cîmpului sînt generate de aplicarea fără rezerve a principiilor mecanicii cuantice şi ale teoriei relativităţii într-un domeniu în care ar putea fi valabile, eventual, numai într-un caz extrem. Teoria cuantică a cîmpului face un nou pas înainte, în comparaţie cu mecanica

[1] Vezi, de exemplu, A. Sokolov şi D. Ivanenko, *Teoria cuantică a cîmpului*, p. 613.



cuantică şi cu teoria relativităţii, pe calea cunoaşterii legăturii necesare obiective dintre fenomenele fizice; de aceea, maturizarea ei pare să fie imposibilă fără o modificare radicală a noţiunilor şi principiilor fundamentale ale mecanicii cuantice şi ale teoriei relativităţii. Această cale de dezvoltare a ideilor cuantice este tocmai calea progresului ştiinţei fizice, diametral opusă căii subiectivismului şi a indeterminismului.

O analiză mai amănunţită a problemelor cauzalităţii referitoare la teoria cuantică a cîmpului depăşeşte cadrele lucrării noastre. Să rezumăm conţinutul paragrafului:

În literatura modernă, se conturează următoarele încercări de explicare a statisticităţii cuantice.

În primul rînd, baza sau cauza statisticităţii cuantice rezidă în influenţa principial necontrolabilă a procesului de măsurare asupra microobiectului. Această încercare de explicaţie, emisă de către Bohr şi şcoala sa, trebuie să fie respinsă, deoarece ea înseamnă că sau legităţile fenomenelor individuale sînt incognoscibile, sau legităţile microfenomenelor individuale reprezintă o categorie subiectivă, „instrumentală", reducîndu-se deci la subordonarea microfenomenelor individuale întîmplării pure.

În al doilea rînd, baza statisticităţii cuantice rezidă în aceea că comportarea microobiectelor individuale este în principiu statistică. Această încercare de explicaţie a statisticităţii cuantice se bazează pe recunoaşterea domniei întîmplării pure în domeniul microfenomenelor (indeterminism), trebuind deci să fie respinsă.

În al treilea rînd, putem privi drept cauză a statisticităţii cuantice parametrii ascunşi din starea iniţială a microobiectului, acesta fiind privit din punctul de vedere al unor anumite reprezentări clasice (de exemplu, electronul este o particulă, electronul este ceva de tipul unui punct material înconjurat de un cîmp de forţe ondulatorii etc.). Această încercare de explicare a statisticităţii cuantice se bazează pe determinismul mecanicist şi este repudiată de dezvoltarea fizicii.

În al patrulea rînd, baza statisticităţii cuantice poate fi căutată în legătura indisolubilă a microfenomenelor cu condiţiile macroscopice; în acest caz, parametrii ascunşi caracterizează influenţa ambianţei macroscopice asupra fenomenului individual. Această explicaţie, propusă de către D. I. Blohinţev, este inacceptabilă, pentru că ea pune în mod implicit întrebarea: de ce condiţiile în care se realizează un fenomen atomic sînt condiţii macroscopice, fără se dea un răspuns la această întrebare.

În al cincilea rînd, putem vedea baza sau cauza statisticității cuantice în proprietățile corpuscular-ondulatorii ale microobiectelor. Aceasta înseamnă că este necesar să căutăm parametrii ascunși ținînd seama de unitatea indisolubilă a proprietăților corpusculare și ondulatorii reale ale microobiectelor. Acești parametri ascunși nu se referă, desigur, la mărimile mecanicii cuantice, deoarece aceasta nu studiază transformările reciproce ale „particulelor" și „cîmpurilor", și nu poate să dezvăluie în mod concret, pe baza principiilor ei, legăturile dintre proprietățile ondulatorii și cele corpusculare. Ultima încercare de explicare a statisticității cuantice ne pare cea mai corespunzătoare stării actuale a teoriei microfenomenelor.

## ÎN LOC DE ÎNCHEIERE

Rezumăm pe capitole conținutul lucrării de față.

*Capitolul I.* Ca și întreaga fizică modernă, mecanica cuantică este arena unei lupte neîmpăcate între materialism și idealism. Linia materialistă în fizică este reprezentată prin oamenii de știință sovietici și prin savanții progresiști de peste hotare; de ea este strîns legat materialismul spontan al fizicienilor, convinși de realitatea obiectivă a naturii. Linia idealistă este reprezentată prin școlile de savanți care domină în știința din țările capitaliste, precum și prin unii mari fizicieni. Școala de la Copenhaga, ale cărei idei au căpătat cea mai mare răspîndire printre fizicienii din străinătate, susține o linie subiectivistă în mecanica cuantică. Fondatorii acestei școli — Bohr și Heisenberg — au creat concepția complementarității, care a dus la denaturarea conținutului mecanicii cuantice în spiritul idealismului subiectiv.

*Capitolul II.* Funcția de undă reflectă statistic proprietățile corpusculare și ondulatorii inseparabile ale microobiectelor, reprezentînd, prin urmare, o caracteristică obiectivă a unui ansamblu cuantic. Ansamblul cuantic nu este un „colectiv de experimente", nu este un „colectiv de rezultate de măsurare". El nu este o creație speculativă; această noțiune reflectă ansamblul unui număr suficient de mare de microobiecte care, într-o anumită măsură, joacă același rol și care, în condiții determinate, aparțin la o aceeași specie. Concepția ansamblelor cuantice creează o bază principială corespunzătoare conținutului real al mecanicii cuantice. Principiul complementarității este un principiu subiectivist, introdus în mecanica cuantică din filozofia machistă. El denaturează noțiunile și principiile fundamentale ale mecanicii cuantice, transformîndu-le în categorii „instrumentale", „de măsurare". Problema naturii corpusculare și ondulatorii a

microobiectelor a fost deocamdată insuficient studiată. Acest fapt se manifestă şi în expunerea concepţiei ansamblelor cuantice.

Relaţia de nedeterminare, dedusă cu ajutorul funcţiei de undă, şi principiul nedeterminării, fundamentat de Heisenberg prin consideraţii referitoare la anumite experimente mintale, nu sînt nicidecum unul şi acelaşi lucru, contrar celor ce susţine şcoala de la Copenhaga. Relaţia de nedeterminare caracterizează specificul microobiectelor în deosebirea lor de obiectele macroscopice şi se referă la un ansamblu cuantic. Principiul nedeterminării nu este legat în mod intrinsec de aparatul matematic al mecanicii cuantice, reprezentînd un principiu care denaturează conţinutul mecanicii cuantice, în sensul recunoaşterii unei interacţii principial necontrolabile a obiectului atomic cu aparatul de măsură. Formularea operaţională a relaţiei de nedeterminare $P_xX-XP_x=\frac{\hbar}{i}$ este adecvată conţinutului mecanicii cuantice; ea mai arată clar că mărimile cuantice se deosebesc de mărimile clasice prin noi aspecte, reprezentînd mărimi *sui generis*.

*Capitolul III.* Principiul observabilităţii reprezintă o teză a idealismului „fizic". El a fost introdus în fizica modernă din filozofia subiectivistă a lui Mach şi a servit drept suport al concepţiei complementarităţii din mecanica cuantică şi al interpretărilor subiectiviste ale teoriei relativităţii. Principiul observabilităţii cere ca într-o teorie fizică să nu figureze decît noţiunile cărora le corespund experimente reale sau mintale. S-ar părea, la prima vedere, că principiul acesta este expresia ideii că, dacă un lucru există, el trebuie să fie în principiu observabil şi deci cognoscibil. În realitate însă, principiul observabilităţii afirmă tocmai contrariul; anume, el emite teza: ceea ce este observabil sau observabil în principiu există, adică el este legat în mod organic de curentele operaţionaliste (Eddington, Bridgman) şi de alte curente idealiste din fizica modernă.

Principiul observabilităţii priveşte dezvoltarea fizicii ca un proces al eliminării din cunoaşterea fizică a aşa-numitului „inobservabil", referindu-se la dezvoltarea teoriei relativităţii şi a mecanicii cuantice. În realitate, istoricul acestor teorii şi conţinutul lor real infirmă schema principiului observabilităţii, demonstrînd, o dată în plus, justeţea tezei lui Engels că forma de dezvoltare a ştiinţelor naturii este ipoteza.

*Capitolul IV.* Măsurarea în fizică este realizată prin observaţie şi experiment, iar experimentul pus la baza măsurării are de obicei un caracter indirect. Fenomenele fizice şi legile lor



există independent de observator şi de aparatele sale de măsură şi sînt reflectate în reprezentările, noţiunile şi teoriile fizice. Pe măsura dezvoltării ştiinţei şi a practicii, noţiunile, principiile şi teoriile fizice reflectă tot mai adînc şi mai complet natura. Un rol foarte mare în cunoaşterea fenomenelor fizice revine aparatelor; ele permit să se studieze fenomene prea puţin accesibile şi chiar inaccesibile percepţiei (unui organ de simţ neînarmat), pe o cale indirectă, care presupune perceperea de către un organ de simţ a unor alte fenomene, legate în virtutea unor legi de fenomenele cercetate. Construcţia şi utilizarea aparatelor şi, prin urmare, realizarea măsurării presupune existenţa unor legi determinate şi cunoaşterea lor de către om.

Idealismul „fizic" în mecanica cuantică atribuie aparatului un rol specific în cunoaşterea microfenomenelor, care ar fi principial deosebit de rolul lui în fizica clasică. Acest pretins specific al aparatului stă în faptul că, în domeniul atomic, hotarul dintre obiectul de cercetare şi aparat ar rămîne arbitrar şi că deci problema realităţii şi a cauzalităţii s-ar rezolva în alt fel în mecanica cuantică decît în fizica clasică. În practică, aceasta înseamnă că, în conformitate cu concepţia complementarităţii, comunitatea rezultatelor observaţiei (măsurării) este proclamată drept „realitate fizică", iar „proprietatea" de a fi o realitate obiectivă este proclamată drept un moment derivat al comunităţii rezultatelor observate. Acest fel de a considera aparatul în mecanica cuantică a fost preluat din filozofia idealistă şi nu corespunde mecanicii cuantice.

După concepţia complementarităţii, măsurarea din mecanica cuantică este o interacţie necontrolabilă a microobiectului cu un aparat (care este un obiect „clasic"). Această afirmaţie înseamnă, în fond, că aparatul nu este un corp fizic, ci o creaţie speculativă; „necontrolabilitatea" este o reprezentare fantezistă asupra proprietăţilor corpuscular-ondulatorii inseparabile ale microobiectelor. Cu alte cuvinte, modul de a înţelege măsurarea în mecanica cuantică, preconizat de şcoala de la Copenhaga, nu are nimic comun cu măsurarea reală din fizică. În mecanica cuantică, aceasta înseamnă găsirea unor caracteristici ale mărimilor proprii microfenomenelor, pe baza indicaţiilor aparatelor şi cu ajutorul teoriei cuantice. Experimentele mintale ale lui Heisenberg nu au nici o legătură cu măsurarea din mecanica cuantică; ele nu sînt experimente mintale care reproduc în abstracţiuni măsurătorile reale (acest fel de experimente mintale reprezintă un procedeu

teoretic util, folosit în fizică), ci sînt consideraţii menite să întemeieze, oarecum, principiul complementarităţii.

Realizarea unui experiment presupune, în afară de aparatul propriu-zis (cu ajutorul căruia se studiază fenomenul), realizarea unor anumite condiţii, în legătură cu care se consideră fenomenul.

Aceste condiţii se găsesc în natură, sau sînt realizate de experimentator prin intermediul unui dispozitiv experimental corespunzător. Pentru rezolvarea problemelor de cercetare, aceste dispozitive sînt asociate aparatelor propriu-zise şi, în procesul de cercetare, formează cu acestea un singur tot. A nu face distincţie între astfel de dispozitive şi aparatele propriu-zise, înseamnă a comite o eroare gravă, care lasă cale liberă concepţiilor idealiste în fizică. O eroare de acest fel face şcoala de la Copenhaga, afirmînd că aparatul „prepară" starea obiectului atomic, că măsurarea modifică în mod necontrolabil starea obiectului etc. În realitate, fenomenele cuantice există independent de experimentator, independent de faptul că el fixează sau nu (cu ajutorul unui aparat propriu-zis) aceste fenomene.

*Capitolul V.* Determinismul, adică recunoaşterea faptului că toate fenomenele din natură sînt legate în mod necesar, legic între ele, stă la baza ştiinţei. Ducînd lupta împotriva idealismului, care neagă determinismul şi susţine că în natură domneşte întîmplarea pură (indeterminism), materialismul se bazează pe rezultatele şi realizările întregii cunoaşteri omeneşti.

Idealismul a încercat să prezinte descoperirile fizicii din epoca noastră, care au revoluţionat principiile şi noţiunile fundamentale ale fizicii clasice, drept o infirmare a materialismului şi determinismului, drept un triumf al indeterminismului în fizică. Căutînd să demonstreze această teză, idealismul a ignorat deosebirea radicală dintre materialismul metafizic şi materialismul dialectic. Referirile idealismului la relaţia de nedeterminare şi la alte relaţii şi principii ale mecanicii cuantice sînt lipsite de o bază ştiinţifică.

Descoperirea relaţiei de nedeterminare şi a legilor mecanicii cuantice a însemnat că fizica a depăşit cadrele teoriilor clasice ajungînd să cunoască proprietăţile şi legile unor fenomene necunoscute înainte de fizică, iar acest lucru confirmă materialismul dialectic. Concepţia legii statistice din mecanica cuantică, bazată pe indeterminism, este exprimată prin afirmaţiile: 1) statistica intră în mecanica cuantică datorită modificării principial necontrolabile a stării microobiectului la măsurarea lui; 2) mecanica cuantică exclude orice comportare nestatistică, dinamică a microobiectului individual; 3) comportarea microobiectului este guvernată de întîmplarea pură. Acest mod de a înţelege legea statistică în mecanica cuantică este legat în mod organic de idealismul „instrumentalist" al şcolii de la Copenhaga, şi, în genere, de subiectivism, care substituie problemei necesităţii, cauzalităţii, legităţii din natură, problema preciziei cunoaşterii noastre (Heisenberg, Reichenbach şi alţii).



Legile statistice specifice ale mecanicii cuantice, ca şi legile mecanicii statistice sînt legi obiective ale fonemenelor fizice.

Legile dinamice şi cele statistice exprimă legături cauzale necesare. Legea statistică şi cea dinamică propriu-zisă sînt identice şi, în acelaşi timp, deosebite una de cealaltă; de aceea, opunerea lor sau reducerea uneia la cealaltă (tratarea metafizică idealistă) contrazice înţelegerea naturii aşa cum este ea în realitate, cu legătura ei necesară între toate fenomenele. Problemele corespunzătoare, referitoare la fizică (bazele statisticităţii cuantice, parametrii ascunşi etc.) se rezolvă în realitate numai pe baza recunoaşterii determinismului. În particular, cauza statisticităţii cuantice trebuie căutată ţinîndu-se seama de unitatea indisolubilă a proprietăţilor reale corpuscular-ondulatorii ale microobiectelor.

## COMPLETARE

Cînd cartea se afla sub tipar, am luat cunoştinţă de articolul lui W. Heisenberg, „Dezvoltarea interpretării teoriei cuantice", publicat în culegerea recent apărută, dedicată lui N. Bohr[1]. În articol, sînt din nou puse problemele filozofice ale mecanicii cuantice din punctul de vedere al concepţiei complementarităţii şi este examinată critica acestei concepţii pe care au formulat-o în ultimul timp oameni de ştiinţă sovietici şi din străinătate. Deşi, după cum observă însuşi autorul, în sprijinul interpretării de la Copenhaga nu se aduc argumente cît de cît noi, în articol este dată o analiză ulterioară a problemei în ce măsură, după expresia lui Heisenberg, baza întregii fizici (prin aceasta autorul înţelege în mod just afirmaţia existenţei lumii reale obiective) continuă a fi interpretarea de la Copenhaga a teoriei cuantice (pp. 24—25). Ne limităm la cîteva observaţii cu privire la articol.

Împărţind pe adversarii interpretării date de şcoala de la Copenhaga în anumite grupuri, Heisenberg subliniază, în acelaşi timp, că ei sînt cu toţii de acord să „revină la ideea unei lumi reale obiective, în care şi cele mai mici părţi există în mod obiectiv, exact în acelaşi mod ca şi pietrele şi copacii, independent de faptul dacă le observăm sau nu" (p. 17).

Şi aceasta este just. Concepţiile materialiste asupra mecanicii cuantice unesc pe adversarii şcolii de la Copenhaga, cu toate diferitele deosebiri care îi despart, deoarece interpretarea şcolii de la Copenhaga se află în contradicţie cu materialismul.

În articol se afirmă că Bohr „a formulat o nouă interpretare a teoriei cuantice, în limbajul filozofic cu care s-a obişnuit în cei cincisprezece ani cît avusese de-a face cu atomii" şi care „nu

[1] W. Heisenberg, *The Development of the Interpretation of the Quantum Theory;* în *Niels Bohr and the Development of Physics,* London, 1955. Citatele din text sînt luate din această culegere.



era însă limbajul nici unuia dintre sistemele filozofice tradiţionale: pozitivismul, materialismul sau idealismul; el se deosebea prin conţinut, deşi cuprindea elemente din toate aceste sisteme de gîndire" (p. 16).

Asemenea afirmaţii nu sînt noi. Putem cita filozofi şi cercetători ai naturii care, şi înainte de Heisenberg, au căutat să găsească o linie „nouă" în filozofie, pretins liberă de „unilateralitatea" concepţiei că există numai două direcţii principale în filozofie: materialismul şi idealismul. După cum se ştie, în lucrarea sa „Materialism şi empiriocritism", V. I. Lenin a arătat întreaga neputinţă şi întregul caracter greşit şi reacţionar al acestor încercări de „a se ridica deasupra" materialismului şi a idealismului, care înseamnă în practică sprijinirea idealismului, lupta împotriva materialismului. Lenin a arătat că partizanilor „liniei de mijloc în filozofie" îi sînt proprii eclectismul, inconsecvenţa, confuzia în problemele filozofice, în acelaşi timp cu o predominantă tendinţă idealistă. La fizicieni cum este Heisenberg, această confuzie se explică, în parte, prin faptul că, avînd de-a face ca cercetători ai naturii cu lumea materială, ei sînt obligaţi să recunoască, într-un fel sau altul, realitatea obiectivă a materiei şi a particulelor ei, a spaţiului şi a timpului, a necesităţii în natură etc. Însă trecînd la filozofie, ei trag din datele fizicii concluzii idealiste.

Heisenberg subliniază în articol că „interpretarea de la Copenhaga a teoriei cuantice nu este în nici o privinţă pozitivistă. Căci pozitivismul se bazează pe percepţiile sensoriale ale observatorului ca elemente ale realităţii, în timp ce interpretarea de la Copenhaga consideră lucrurile şi procesele care pot fi descrise în termenii noţiunilor clasice, adică realitatea ca fiind baza oricărei interpretări fizice" (p. 22).

Tocmai de aceasta este vorba, că limbajul teoriilor clasice nu este utilizabil pentru reflectarea adecvată a fenomenelor atomice; noţiunile fizicii clasice se utilizează în teoria cuantică, însă noţiunile mecanicii cuantice nu se reduc la ele.

La ce duce aplicarea nejustificată a noţiunilor clasice la fenomenele atomice, ne putem da seama din numeroasele afirmaţii ale lui Heisenberg, dintre care o parte au fost citate în părţile corespunzătoare ale acestei lucrări, afirmaţii făcute în spiritul pozitivismului lui Mach, negat în vorbe. Esenţialul constă în aceea că interpretarea de la Copenhaga caută să rezolve în mod greşit chiar problema pe care a pus-o: să urmărească comportarea unui obiect atomic, nedepăşind în principiu cadrele

noţiunilor mecanicii clasice. Această problemă nu poate fi însă rezolvată, ceea ce rezultă în mod necesar din faptul existenţei proprietăţilor ondulatorii ale obiectelor atomice; încercînd să rezolve totuşi problema, şcoala de la Copenhaga emite ideea „interacţiei necontrolabile" a obiectului cu aparatul, adică emite ideea complementarităţii.

Termenul de „necontrolabilitate" nu este utilizat în articolul citat. În el conţinutul interpretării de la Copenhaga apare sub aspectul complementarităţii între caracterizarea matematică a proceselor atomice şi descrierea lor în noţiunile fizicii clasice. Este posibil ca analiza problemelor referitoare la această „complementaritate" să fie considerată de Heisenberg ca o analiză nouă a problemei realităţii obiective în mecanica cuantică.

Obiectînd lui A. D. Aleksandrov, care consideră funcţia de undă ca o caracteristică a stării obiective a electronului, iar mărimea fizică ca ceva obiectiv[1], Heisenberg scrie: „Aleksandrov nu a observat că interacţia sistemului cu aparatul de măsură, dacă aparatul şi sistemul se consideră izolate de restul lumii şi sînt privite ca un singur tot, în conformitate cu mecanica clasică, nu duce, de regulă, la un rezultat determinat (de exemplu, la înnegrirea plăcii fotografice într-un punct dat). Dacă apărarea împotriva acestei concluzii este că placa se înnegreşte „în realitate" într-un punct dat, atunci obiecţia constă în aceea că tratarea cuantică nu mai este aplicabilă sistemului închis electron + placă. În aceasta stă caracterul faptic al evenimentului, descris în termenii noţiunilor din viaţa de toate zilele, care nu este conţinut automat în formalismul matematic al teoriei cuantice şi care apare în interpretarea de la Copenhaga prin introducerea observatorului" (p. 22).

Pentru interpretarea de la Copenhaga, este esenţial ceea ce numeşte Heisenberg, în afirmaţia citată, „caracterul faptic al evenimentului descris" etc. Prin intermediul observatorului sau, cum explică Heisenberg, al aparatului (prin observator nu se înţelege numaidecît o fiinţă omenească), posibilitatea pe care o guvernează legile matematicii se transformă în realitate, guvernată de astă dată de legile fizicii. De pe această poziţie critică Heisenberg concepţiile lui Aleksandrov asupra mecanicii cuantice.

[1] Afirmaţiile lui A. D. Aleksandrov la care se referă Heisenberg sînt conţinute în articolul său, *O smîsle volnovoi funkţii*, DAN SSSR, vol. LXXXV, nr. 2, 1952, iar nu în articolul *O paradokse Einsteina v kvantovoi mehanike*, DAN SSSR, vol. LXXXIV, nr. 2, 1952, pe care-l citează în mod greşit Heisenberg.



Un sistem atomic individual (dacă este privit în afara legăturii cu restul lumii) poate fi reprezentat matematic printr-o funcţie de undă. În acest caz, reprezentarea are un caracter absolut obiectiv, adică nu conţine părţi care se referă la gradul de cunoaştere al observatorului, însă atunci ea este în întregime abstractă şi de neînţeles, deoarece expresia matematică $\Psi(x)$ nu se referă la spaţiul real sau la o proprietate reală şi deci nu are nici un conţinut fizic. Funcţia de undă capătă un conţinut fizic numai în legătură cu întrebarea : în ce mod vor decurge experimentele reale sau posibile. De pe acest punct de vedere trebuie să luăm în considerare interacţia sistemului cu aparatul de măsură şi să utilizăm noţiunea matematică de amestec statistic de funcţii de undă (p. 26).

Toate aceste afirmaţii ale lui Heisenberg se reduc la aceea că reprezentarea matematică a atomului capătă, ca să zicem aşa, o natură fizică datorită experimentului, cu alte cuvinte, după Heisenberg, recunoaşterea existenţei proprietăţilor fizice ale atomului independent de experiment este lipsită de sens, adică atomul îşi capătă proprietăţile fizice în procesul măsurării sale cu ajutorul unui aparat aparţinînd uneia dintre cele două clase „complementare", fapt despre care am mai vorbit în locul corespunzător al lucrării de faţă.

Aşadar, după Heisenberg, dacă Aleksandrov vrea să evite în mecanica cuantică afirmaţiile despre observator, el are dreptul să privească funcţia de undă ca o caracteristică obiectivă, însă în acest caz, funcţia de undă va fi o caracteristică pur matematică. Însă Aleksandrov vorbeşte despre funcţia de undă şi despre alte noţiuni ale mecanicii cuantice ca despre caracteristici fizice şi, prin urmare, după Heisenberg, el nu poate evita afirmaţiile despre aparat, adică nu poate renunţa la noţiunile clasice, ceea ce înseamnă, după cum consideră Heisenberg, că Aleksandrov trebuie să recunoască justeţea interpretării de la Copenhaga.

Nu putem fi de acord cu Heisenberg. Am arătat că aparatul matematic al mecanicii cuantice reflectă starea obiectivă a obiectului atomic cu proprietăţile corpusculare şi ondulatorii inseparabile care-l caracterizează şi că noţiunile clasice nu joacă în mecanica cuantică rolul pe care li-l atribuie Heisenberg[1].

De aceea, are dreptate A. D. Aleksandrov, atunci cînd afirmă că funcţia de undă este o caracteristică obiectivă, adică ea

[1] Vezi cap. II.

caracterizează o stare obiectivă a obiectului atomic, care există independent de observator.

Heisenberg introduce o distincţie între termenii de „obiectiv" şi de „real". El consideră că „starea unui sistem închis, reprezentată printr-un vector hilbertian (adică printr-o funcţie de undă. — *M.O.*) este în adevăr obiectivă, însă nu este reală şi că ideea clasică despre „lucrurile reale obiective" trebuie să fie în această privinţă părăsită" (p. 27). După Heisenberg realitatea obiectivă se limitează la sfera lucrurilor pe care omul poate să le descrie în termenii spaţiului şi ai timpului, adică, după cum menţionează Heisenberg, în termenii noţiunilor clasice (p. 28). În felul acesta, Heisenberg nu distinge noţiunea de realitate obiectivă de noţiunile fizicii clasice şi, întrucît noţiunile clasice joacă în interpretarea de la Copenhaga un rol esenţial în sensul ideii complementarităţii, acelaşi rol îl joacă, în interpretarea de la Copenhaga, şi noţiunea de realitate obiectivă. Tocmai în sensul ideii de complementaritate, rămîne ideea de realitate obiectivă în mecanica cuantică. Aceasta este părerea lui Heisenberg, atunci cînd el rezolvă problema pe care singur şi-a pus-o: în ce măsură baza întregii fizici se păstrează în interpretarea de la Copenhaga.

În articolul lui Heisenberg putem citi: „Ontologia materialismului s-a bazat pe iluzia că genul de existenţă, „realitatea" nemijlocită a lumii care ne înconjoară poate fi extrapolată la domeniul atomic. Această extrapolare este însă imposibilă" (p. 28).

Luată în sine, această afirmaţie este în general corectă, dacă ne referim la materialismul metafizic. Însă la Heisenberg, ea are un caracter specific „de Copenhaga", care iese uşor în evidenţă dacă analizăm toate afirmaţiile lui Heisenberg despre realitatea obiectivă în ansamblu. Heisenberg identifică noţiunea de realitate obiectivă cu concepţia fizicii clasice despre ea. De aici decurg concluziile sale greşite despre realitatea obiectivă, despre care a fost vorba mai sus, şi, în particular, concluzia că „fenomenele atomice nu pot fi întotdeauna reprezentate ca procese obiective, care se produc în timp şi spaţiu"[1].

Să analizăm acum observaţiile critice ale lui Heisenberg la adresa lui D. I. Blohinţev. Heisenberg consideră că afirmaţia lui Blohinţev — apartenenţa unei particule la un ansamblu cuantic este complet obiectivă şi nu depinde de afirmaţiile făcute de observator — duce «departe (poate prea departe) de la ontologia

[1] W. Heisenberg, *Problemele filozofice ale fizicii atomice*, p. 82.



materialistă» şi că termenul de „obiectiv" este utilizat «într-un sens întrucîtva deosebit de cel din fizica clasică» (pp. 22—23).

În realitate, Heisenberg consideră că, în fizica clasică, caracterizarea unei particule prin intermediul unui ansamblu statistic nu stabileşte numai proprietăţile acestei particule, dar conţine şi o informaţie despre gradul de cunoaştere al particulei de către observator, adică conţine un element subiectiv (vezi p. 26). De exemplu, după cum indică Heisenberg într-o altă lucrare, „dacă mişcarea şi poziţia tuturor moleculelor unui gaz ar fi cunoscute, atunci ar fi lipsit de sens să vorbim despre temperatura gazului. Noţiunea de temperatură poate fi aplicată numai atunci cînd sistemul este cunoscut în mod incomplet şi, din această cunoaştere incompletă, dorim să extragem concluzii statistice"[1].

Tocmai de aceea afirmă Heisenberg că utilizarea cuvîntului „obiectiv" pentru caracterizarea unui sistem prin intermediul unui ansamblu cuantic este discutabilă. Heisenberg a tras această concluzie pentru că el a adoptat interpretarea subiectivistă a întîmplării şi a legii statistice. Dar există şi un alt punct de vedere asupra întîmplării şi asupra originii legilor statistice din fizică, care exclude subiectivismul (M. Smoluchowsky şi alţii); această problemă a fost analizată în capitolul V. În conformitate cu această din urmă interpretare, dacă noi, să zicem, am cunoaşte în întregime poziţiile şi impulsurile tuturor moleculelor unui gaz, dacă am putea urmări exact pe cale matematică mişcarea lor la orice moment etc., teoria statistică şi-ar păstra cu toate acestea întreaga ei valoare. În general, probabilitatea unui eveniment nu depinde decît de condiţiile apariţiei sale, dar nu de gradul cunoaşterii omeneşti, adică are un caracter obiectiv, şi aceasta priveşte probabilităţile şi din teoria clasică şi din cea cuantică.

Întrucît situaţia se prezintă în realitate tocmai în acest fel, observaţiile critice ale lui Heisenberg împotriva lui Blohinţev cad. Heisenberg a considerat, în mod greşit, noţiunea de realitate obiectivă şi noţiunea de lege statistică în modul obişnuit la reprezentanţii fizicii clasice.

În realitate, spre deosebire de concepţiile materialismului mecanicist, noţiunea de realitate obiectivă nu se reduce la particule care se mişcă după legile mecanicii clasice şi noţiunea de lege fizică obiectivă nu se reduce la legile nestatistice. Heisenberg

[1] W. Heisenberg, *Das Naturbild der heutigen Physik*, Hamburg, 1955, p. 27.

nu vede deosebirea dintre materialismul metafizic şi materialismul dialectic.

Dacă rezumăm în mod schematic concepţiile lui Heisenberg asupra mecanicii cuantice, exprimate în articolul examinat, obţinem următorul rezultat:

| *Cunoaşterea fizică a proceselor atomice* | *Reprezentarea matematică a proceselor atomice* |
|---|---|
| Descrierea în termenii spaţiului şi timpului sau în termenii noţiunilor clasice. | Reprezentarea simbolică cu ajutorul funcţiei de undă. |
| Legi statistice. | Ecuaţia undelor de tipul unei legi dinamice. |
| Cunoaşterea „realului" este o cunoaştere incompletă. | Funcţia de undă care guvernează posibilitatea, caracterizează în mod simbolic în întregime starea obiectului atomic. |
| Descrierea în termenii noţiunilor clasice conţine în mod inevitabil un element „subiectiv". | Caracterizarea proceselor atomice cu ajutorul funcţiei de undă este o caracterizare pe deplin obiectivă, adică nu conţine afirmaţii despre observator. |

Trecerea de la posibilitate la realitate, sau de la matematica atomului la fizica atomului este realizată prin introducerea în teoria cuantică a noţiunilor clasice sau a afirmaţiilor despre observator (aparat).

Această schemă este schema ideii complementarităţii, expusă în articolul lui Heisenberg.

În afara concepţiilor asupra mecanicii cuantice ale lui A. D. Aleksandrov şi D. I. Blohinţev, Heisenberg a analizat din punct de vedere critic şi concepţiile lui D. Bohm, L. de Broglie şi ale altor fizicieni care s-au ridicat împotriva interpretării de la Copenhaga. Nu ne vom opri la observaţiile critice respective ale lui Heisenberg; în locul lor, vom spune cîteva cuvinte despre ideile lui Bohm-de Broglie-Vigier referitoare la teoria cuantică, în legătură cu ultimele lucrări ale acestor fizicieni.

Interpretarea mecanicii cuantice de către Bohm-de Broglie-Vigier, denumită de ei deterministă, a cărei idee fundamentală a fost examinată în lucrarea de faţă, trece printr-o anumită evoluţie, eliberîndu-se de concepţiile unilaterale proprii materialismului mecanicist. Că situaţia se prezintă tocmai astfel, arată clar articolul lui Vigier, publicat în numărul din decembrie 1955 al revistei „La Pensée". În articol, se arată, în particular,



că prima variantă a interpretării deterministe a mecanicii cuantice, expusă în articolele lui Bohm şi despre care a fost vorba mai sus, a fost nesatisfăcătoare, şi anume nesatisfăcătoare din cauza faptului că el asimila microparticulele cu puncte, lăsînd la o parte dificultăţile interpretării clasice a cîmpurilor, iar problema probabilităţii nu depăşea cadrul determinismului mecanicist.

Vigier consideră că lipsurile proprii primei variante a interpretării deterministe a mecanicii cuantice, dată de Bohm, nu se referă la varianta dezvoltată a acestei concepţii, care poartă denumirea de „teoria dublei soluţii".

Această din urmă variantă consideră aspectul corpuscular al obiectelor ca o regiune singulară dintr-o undă reală în propagare. Situaţia se prezintă ca şi cum electronul s-ar asemăna cu un fel de flux care se propagă în spaţiu, în interiorul căruia se deplasează o regiune de concentrare puternică, care reprezintă aspectul corpuscular.

Adîncirea acestei idei îl duce pe Vigier la concepţia că, la nivelul subatomic, materia este înzestrată cu mişcări turbionare şi haotice puternice şi, în acest eter specific, compatibil cu principiul relativităţii, se propagă unde reale care consituie microobiectele. Din acest punct de vedere, potenţialul cuantic al lui Bohm reprezintă efectul oscilaţiilor haotice ale eterului, asupra undelor care se propagă în el.

Nu avem de gînd să facem o analiză a ideilor din concepţia lui Bohm-de Broglie-Vigier despre care am oferit aici o idee cu totul incompletă. Concepţia se apropie de ideile lui Descartes-Kelvin-Einstein (despre aceasta scrie şi Vigier); ea comportă şi principalul defect al acestor idei, poate într-o formă considerabil atenuată. Ne referim aici la faptul că, în această concepţie, primul loc — şi locul principal — îl ocupă reprezentările care se referă la cîmp, la undă, la continuitatea materiei şi a mişcării; reprezentările asupra corpusculului, particulei şi, în general, reprezentările fizice care se referă la aspectul discret al materiei în mişcare par să fie subordonate reprezentărilor care se referă la continuitate. În realitate însă, adevărul stă în depăşirea unilateralităţii concepţiilor despre discret şi continuu, prin unitatea internă a discretului şi continuului.

Credem însă că trebuie să cădem de acord cu Vigier, atunci cînd el afirmă că concepţia deterministă oferă un eventual punct de plecare materialist pentru dezvoltarea teoriei proceselor sub-

atomice. Deşi în ea inseparabilitatea proprietăţilor corpusculare şi ondulatorii ale materiei apare sub aspectul continuităţii, concepţia lui Bohm-de Broglie-Vigier prezintă un avantaj filozofic imens în comparaţie cu concepţia complementarităţii. Ea porneşte de la recunoaşterea legăturii necesare, guvernate de legi, între obiectele atomice, deşi poate prezintă această legătură sub forme întrucîtva simplificate, spre deosebire de interpretarea de la Copenhaga, care porneşte, în ultimă instanţă, de pe poziţiile subiectivismului şi indeterminismului.

## *ANEXĂ**

### DESPRE PROBLEMELE FILOZOFICE ALE MECANICII CUANTICE

#### I

Problemele filozofice ale mecanicii cuantice sînt, neîndoios, probleme dintre cele mai importante şi mai profunde ale ştiinţei actuale. Interpretarea corectă în mecanica cuantică a unor probleme ca realitatea obiectivă a fenomenelor atomice, particularităţile legilor care le guvernează, cauzalitatea, observabilitatea, complementaritatea unor proprietăţi fizice etc., prezintă o uriaşă importanţă, atît pentru mecanica cuantică, cît şi pentru filozofie.

De aceea, cartea lui *M. E. Omelianovski* „Problemele filozofice ale mecanicii cuantice" (Editura Academiei de Ştiinţe a U.R.S.S., M., 1956, 269 pag.) a fost primită cu interes de reprezentanţii a numeroase specialităţi, în primul rînd, de fizicieni şi filozofi. Această carte a fost discutată la Seminarul de filozofie al fizicienilor de la Universitatea de stat „A. A. Jdanov" din Leningrad.

---

* Reproducem, în această Anexă, dările de seamă ale discuţiilor asupra cărţii lui M. E. Omelianovski, organizate la Seminarul de filozofie al fizicienilor de la Universitatea din Leningrad şi la Institutul de fizică a metalelor de pe lîngă Filiala din Ural a Academiei de Ştiinţe a U.R.S.S. (Sverdlovsk). Acest material a fost publicat în revista „Voprosî filosofii", nr. 6, 1957, pp. 184—193.

Părerile expuse în Anexă de mai mulţi fizicieni de seamă îl vor ajuta pe cititor să-şi formeze o imagine mai completă asupra stadiului actual al discuţiilor filozofice purtate în U.R.S.S. cu privire la problemele filozofice ale mecanicii cuantice, să aprecieze mai just tezele lui M. E. Omelianovski, să le integreze în lupta de opinii care se desfăşoară azi în lumea ştiinţifică sovietică. — *Editura Ştiinţifică.*

Cei care au luat cuvîntul la discuţie au fost unanimi în a menţiona că lucrarea analizează, pe baza principiilor marxiste, probleme în adevăr importante, principiale ale mecanicii cuantice. Alegerea acestor probleme importante, principiale, constituie un neîndoios merit al cărţii.

Valoarea deosebită a cărţii discutate, a declarat *V. I. Sviderski*, mai stă în faptul că ea a apărut într-o perioadă în care, din cauza numeroaselor greşeli comise în trecut de unii filozofi marxişti în interpretarea problemelor fizicii moderne, s-a produs o oarecare răceală între filozofi şi fizicieni. Am vrea cu toţii să restabilim contactul ştiinţific şi schimbul de idei dintre filozofi şi fizicieni.

Cei care au luat cuvîntul — G. F. Drukarev, I. N. Demkov, M. V. Volkenştein şi V. I. Sviderski — au relevat că lucrarea lui M. E. Omelianovski are un nivel ideologic şi teoretic mai ridicat decît cercetările anterioare ale filozofilor în problemele mecanicii cuantice. În schimb, o seamă de afirmaţii cuprinse în carte au provocat serioase obiecţii din partea celor care au luat cuvîntul la discuţie. În particular, au fost întîmpinate cu obiecţii unanime teze ale lui M. E. Omelianovski, ca interpretarea mecanicii cuantice în spiritul concepţiei ansamblelor cuantice, şi nu al teoriei procesului cuantic individual, distincţia dintre relaţia de nedeterminare şi principiul nedeterminării etc.

Analizînd conţinutul fizic al concepţiei ansamblelor cuantice, formulată de fizicienii K. V. Nikolski, D. I. Blohinţev şi alţii şi susţinută de autorul cărţii, participanţii la discuţie au dovedit sterilitatea şi inconsistenţa acestei concepţii, precum şi poziţia eronată a lui M. E. Omelianovski în această problemă.

Nu pot fi de acord, spune *G. F. Drukarev*, cu importanţa pe care autorul o atribuie noţiunii de ansamblu în mecanica cuantică. Din punctul de vedere al autorului, concepţia ansamblelor în mecanica cuantică, propusă de Blohinţev, este singura concepţie corectă, care redă în modul cel mai consecvent conţinutul filozofic al mecanicii cuantice. Această concepţie susţine că mecanica cuantică nu descrie microobiecte individuale, ci ansamble ale acestor microobiecte, şi, prin urmare, tot ce ne spune mecanica cuantică se referă la un ansamblu de microobiecte.

Analizînd noţiunea de ansamblu cuantic, aşa cum a fost formulată de D. I. Blohinţev, G. F. Drukarev a arătat că, întrucît ansamblul pur este conceput ca o colecţie de particule independente, care nu interacţionează unele cu altele şi care se află în



aceeaşi stare, rezultă că, în acest ansamblu, nu pot apărea nici un fel de proprietăţi fizice care să nu aparţină şi particulelor individuale. Între altele, dacă ansamblul prezintă proprietatea exprimată prin relaţia

$$\Delta p \Delta q \sim h,$$

această proprietate este inerentă nu numai ansamblului, ci reflectă şi proprietăţile unui microobiect individual. Faptul că, atunci cînd aruncăm în sus o monedă, pentru a vedea dacă va cădea cu „stema" sau cu „marca", obţinem cam cîte 50 de rezultate de ambele feluri din 100 de aruncări caracterizează nu numai ansamblul de experimente cu aruncarea monedei, ci şi proprietăţile obiective de simetrie ale părţilor monedei. În mod analog, mecanica cuantică, descriind un ansamblu, exprimă, într-o anumită descriere statistică, proprietăţile obiectelor elementare.

În afară de aceasta, arată G. F. Drukarev, trebuie să avem în vedere că, în mecanica cuantică, nu este vorba întotdeauna de probabilitate şi că, alături de mărimi statistice, ca probabilitatea coordonatelor şi a impulsurilor, mai figurează şi valori exacte, care se referă la o singură particulă elementară. De exemplu, dacă spunem că energia de legătură a atomului de hidrogen este de 13,5 electron-volţi, avem de-a face cu o afirmaţie valabilă nu numai pentru ansamblu, ci şi pentru fiecare atom în parte. Tot astfel, spune el mai departe, legile de conservare pentru energie şi impuls sînt riguros valabile tocmai pentru microfenomenele individuale. Totodată, dacă respectăm o consecvenţă logică riguroasă în consideraţiile noastre, reiese că concepţia ansamblelor respinge, în opoziţie cu teoria şi cu experimentul, conservarea impulsului pentru fenomenele individuale şi recunoaşte această conservare numai pentru ansamblu.

În cartea şi în articolele lui M. E. Omelianovski, ca şi în ale multor fizicieni, de altfel, spune mai departe G. F. Drukarev, se exprimă ideea că mecanica cuantică, în forma ei actuală, ar fi o frînă pentru dezvoltarea teoriei proceselor elementare şi că concepţia ansamblelor ar croi drum acestei dezvoltări.

Acest lucru putea fi discutat în urmă cu zece ani, cînd a fost emisă concepţia ansamblelor, nu însă acum, cînd ea s-a dovedit cu totul sterilă.

Nu există nici o problemă fizică reală, concretă, a subliniat G. F. Drukarev, pe care mecanica cuantică actuală să o fi rezolvat graţie concepţiei ansamblelor cuantice. Prin urmare, criteriul practicii nu confirmă cîtuşi de puţin superioritatea concepţiei

ansamblelor față de interpretarea obișnuită a mecanicii cuantice, ca teorie a unui microobiect individual.

Expunînd inconsistența ansamblelor, *I. N. Demkov* a arătat că poate fi vorba de ansamblu numai atunci cînd sînt date funcția de undă și măsurătorile corespunzătoare.

Ideea lui D. I. Blohințev, spune I. N. Demkov, că ansamblul se referă la funcția de undă însăși și nu depinde de experimentul pe care îl vom efectua este contradictorie. Din concepția ansamblelor rezultă speranța că putem găsi un mod de descriere care să ne permită înlocuirea modului de descriere probabilist în mecanica cuantică cu unul cert, care ne va da posibilitatea de a studia legile naturii, evitînd relația de nedeterminare. Dar tocmai concepția ansamblelor, a spus în încheiere I. N. Demkov, este cea care inspiră teorii mecaniciste de tipul celor ale lui Bohm, Vigier etc.

Poziția fundamentală a autorului cărții, a declarat *M. V. Volkenștein*, constă în a infirma punctul de vedere al școlii de la Copenhaga, așa-numitul principiu al complementarității, în a combate sub un pretext sau altul experimentul mintal, în a restaura, cum intenționează autorul, triumful cauzalității. Și toate acestea se fac pe baza teoriei ansamblelor, singura teorie fizică — dacă mai putem să-i dăm acest nume — care concordă cu acest punct de vedere.

În spatele concepției ansamblelor, a continuat el, stau parametrii ascunși, care trebuie să explice comportarea microparticulelor în sensul unei cauzalități elementare, altminteri această concepție nu este necesară nici celui care ar dori să găsească un răspuns la probleme arzătoare de ordin filozofic. Este vorba de aceiași parametri ascunși, pe care M. E. Omelianovski îi critică, pentru a recurge apoi totuși la ei. După părerea lui M. V. Volkenștein, însăși apariția teoriei ansamblelor nu are nici o legătură cu dezvoltarea fizicii.

*A. D. Aleksandrov*, membru corespondent al Academiei de Științe a U.R.S.S., a menționat, la începutul cuvîntării sale, că referirea la ansamblu este folosită adeseori, la noi, pentru a reduce la tăcere pe adversarii filozofici. De exemplu, profesorul I. P. Terleţki, redactorul cărții în discuție, într-un cunoscut articol, publicat în „Voprosî filosofii", scrie că a referi funcția de undă la un obiect individual înseamnă idealism, iar la un ansamblu, materialism. Or, continuă A. D. Aleksandrov, contradicțiile interne ale concepției ansamblelor sînt flagrante. Profesorul Blohințev ajunge,



de fapt, la negarea propriului său punct de vedere, deși nu recunoaște acest lucru. Astfel, în cursul său de mecanică cuantică, el definește ansamblul ca o mulțime de particule aflate în aceeași stare, iar în articolul său din „Uspehi fiziceskih nauk", el susține că ansamblul este determinat de tipul particulelor și de condițiile macroscopice. Dat fiind că tipul particulei, relevă A. D. Aleksandrov, se referă la o singură particulă, iar condițiile macroscopice au loc atunci cînd este vorba de o singură particulă, înseamnă că și ansamblul este definit de ceea ce se întîmplă cu o singură particulă. De aici rezultă că și funcția de undă trebuie referită la o singură particulă. Astfel, în articolul din „Uspehi fiziceskih nauk", profesorul Blohințev își infirmă singur concepția. Am impresia că nu este un fenomen întîmplător. În adevăr, nu putem, în mecanica cuantică, să ne menținem pe poziția acestei opuneri nete, proprii metafizicii: ori ansamblul, ori o singură particulă, ori o teorie care se referă la obiectul individual, ori o teorie care se referă la ansamblu, la colectiv. Dacă referim funcția de undă la un obiect individual, înțelegem, totodată, foarte bine, că deja în virtutea caracterului statistic al descrierii, reprezentările pe care ni le oferă această descriere nu pot fi dezvăluite altfel decît într-o serie lungă de experimente și, prin aceasta, se subînțelege în mod necesar că trebuie să avem de a face cu un ansamblu de particule. Aceasta este deosebirea principială dintre mecanica cuantică și cea clasică, în care, pentru a verifica legea mișcării planetelor, nu avem nici o nevoie de un ansamblu de luni, ci ne putem mulțumi foarte bine cu observarea lunii noastre. Totuși, nu avem voie, cînd referim funcția de undă la un obiect individual, să uităm că, din cauza caracterului ei statistic, trebuie să avem în vedere și ansamblul, atunci cînd îi clarificăm semnificația fizică. Totodată, dacă referim funcția de undă la un ansamblu, nu avem voie să uităm (lucru pe care nu putea să-l uite nici profesorul Blohințev) că ansamblul este definit de tipul particulelor și de condiții, care sînt caracteristici ale particulei individuale. Cînd spunem că ansamblul este un colectiv de particule, am impresia că refuzul de a stabili ce trebuie să înțelegem prin această mărime înseamnă o renunțare la materialism. Noi păstrăm numai ansamblul. Dar ce putem spune despre electron, care este, la urma urmelor, un obiect material? Despre acesta, dacă ne luăm după teoria ansamblului cuantic, nu putem spune în general nimic. Dar în mecanica cuantică, nu putem referi totul la ansamblu; nici un fizician nu va crede în așa ceva. Știm cu toții

că, dintr-un tun electronic, fiecare electron iese cu un impuls propriu. În ce realitate obiectivă vom mai putea crede, citind cele scrise despre acest ansamblu?

În legătură cu aceasta, *V. I. Sviderski* a arătat că argumentarea filozofică a lui M. E. Omelianovski în favoarea ansamblelor cuantice nu este, nici ea, convingătoare. În carte, pp. 87—88*, citim: „Ideea ansamblelor cuantice presupune că legile statistice ale mecanicii cuantice oglindesc legile unor microfenomene reale ce se produc în proporţii de masă. Prin aceasta, ideea ansamblelor cuantice duce la punerea problemei: să se dea o teorie a microfenomenelor individuale şi să se dezvăluie legile acestora. Punctul de vedere al lui Fok-Aleksandrov îndepărtează teoria microfenomenelor de la rezolvarea corectă a acestei probleme. În adevăr, legea statistică a fenomenelor ce au loc în proporţii de masă şi legea fenomenelor individuale sînt aceleaşi şi, totodată, deosebite una de cealaltă, ca şi întîmplarea şi necesitatea internă; ele pot fi despărţite una de cealaltă numai în abstracţii, în procesul cercetării corespunzătoare. După Fok şi Aleksandrov, microfenomenul individual, comportarea unui microobiect luat în parte se supune, în general, numai probabilităţii; s-ar putea zice că spiritul statisticii pure ar domina în microcosm: funcţia de undă ar caracteriza starea unui microobiect individual, iar însăşi noţiunea de stare în mecanica cuantică ar fi legată de noţiunea de probabilitate. Fără să vrei îţi aduci aminte aici de afirmaţia de trist renume cu liberul arbitru al electronului".

Ideea autorului cărţii, spune V. I. Sviderski, este următoarea: statistica este dată de un ansamblu, pe cînd obiectul individual dă o imagine deterministă, strict guvernată de legi.

Trebuie să spun că, din punct de vedere filozofic, nu am convingerea fermă că concepţia ansamblelor cuantice ar prezenta anumite avantaje filozofice faţă de concepţia microprocesului individual. Dacă concepţia ansamblelor a fost rebutată din punct de vedere fizic, nu pot spune nimic în favoarea ei, nici din punct de vedere filozofic. M. E. Omelianovski încearcă să o facă, dar pe mine nu m-a convins. În adevăr, dacă voi lua un obiect individual, pot arăta, pe plan filozofic, că el prezintă neapărat trăsături de contingenţă. Orice concret individual este *eo ipso* contingent. Obiectul individual are neapărat trăsături întîmplătoare, pe care nu le capătă de la participarea lui la ansamblu.

* Trimiterile la cartea lui M. E. Omelianovski se referă la ediţia în limba romînă. — *E.S.*



Acestea sînt principalele obiecţii pe care participanţii la discuţie le-au exprimat în legătură cu concepţia ansamblelor cuantice, susţinută în cartea lui M. E. Omelianovski, pe baza unor considerente fizice şi filozofice.

Al doilea element al cărţii, care a provocat obiecţii tot atît de unanime, a fost afirmaţia lui M. E. Omelianovski că ar exista două principii în mecanica cuantică: relaţia de nedeterminare şi principiul nedeterminării.

În p. 32 a cărţii sale, autorul scrie: „Principiul nedeterminării şi relaţia de nedeterminare nu înseamnă de loc acelaşi lucru", şi afirmă mai departe că relaţia de nedeterminare

$$\Delta x \, \Delta p_x \geqslant \hbar/2$$

este o relaţie dedusă din formalismul matematic al mecanicii cuantice, care apare ca o precizare cantitativă a relaţiei $\Delta x \, \Delta p_x \sim \hbar$.

„Principiul nedeterminării — scrie autorul — se obţine atunci cînd relaţia $\Delta x \, \Delta p_x \sim \hbar$ (care se deduce prin compararea noţiunilor ondulatorii şi a celor corpusculare din fizica clasică, se demonstrează prin analiza unor experimente mintale şi se consideră ca fiind limita de precizie cu care putem cunoaşte, în acelaşi timp, coordonata şi impulsul) este ridicată la rangul de principiu" (p. 32).

Din punctul de vedere al autorului, a declarat G. F. Drukarev, ar exista două relaţii de nedeterminare. Una este relaţia lui Heisenberg, stabilită pe baza unor experimente mintale ($\Delta p \, \Delta q \sim \hbar$). O relaţie de acelaşi fel poate fi dedusă din aparatul mecanicii cuantice, dacă definim

$$\Delta q = \sqrt{\overline{\Delta q^2}},$$

$$\overline{\Delta q^2} = \int \psi^* \, \Delta q^2 \, \psi \, dv.$$

G. F. Drukarev adaugă că M. E. Omelianovski se referă, pentru întărirea afirmaţiei sale, la cunoscuta relaţie a lui Bohr pentru energie şi timp

$$\Delta E \, \Delta t \sim \hbar,$$

care, cum au arătat Krîlov şi Fok, nu se deduce, nici ea, din aparatul matematic al mecanicii cuantice. Totuşi, nu există nici un fel de motive pentru a face această analogie între relaţia de nedeterminare şi relaţia lui Bohr. Timpul nu este o coordonată, iar energia nu este impulsul conjugat cu ea.

Am impresia că, a spus G. F. Drukarev, dacă renunţăm la punctul de vedere extremist în legătură cu ansamblul şi considerăm că descrierea probabilistă caracterizează starea unei particule individuale, nu vom mai avea nici un fel de deosebire între aceste două forme ale relaţiei.

I. N. Demkov a ridicat, şi el, obiecţii împotriva dedublării principiului nedeterminării în cartea lui M. E. Omelianovski. Ca răspuns la afirmaţia autorului că relaţia de nedeterminare şi principiul nedeterminării sînt lucruri diferite, el a declarat: „Putem oare considera că acestea sînt lucruri diferite? Ele sînt în adevăr diferite, avînd în vedere că se deduc din considerente diferite. Una se deduce din experimente mintale semiclasice, iar a doua, din aparatul matematic. Sub acest raport, a doua relaţie de nedeterminare este perfect riguroasă şi concordă în întregime cu aparatul matematic; o deducţie matematică elementară îi dovedeşte valabilitatea. Ce putem spune despre prima relaţie de nedeterminare, cea dedusă din experimente clasice? Această primă relaţie de nedeterminare exprimă acelaşi fapt fizic, are aceeaşi natură. Ea este considerată de pe poziţii clasice, adică considerăm mecanica clasică şi adăugăm la ea relaţia de nedeterminare, care limitează această mecanică clasică."

Putem spune, a declarat I. N. Demkov, că aceste două interpretări ale relaţiei de nedeterminare, reprezintă o concepţie asupra aceleiaşi legi a naturii, dar din două puncte de vedere. Prima ia relaţia de nedeterminare din punct de vedere cuantic consecvent, iar a doua, din punct de vedere clasic, dar, şi sub acest raport, cred că este vorba despre aceeaşi lege a naturii. Cînd, în cartea de care ne ocupăm, se spune că relaţia de nedeterminare dedusă din experimente mintale este într-o anumită măsură nefolositoare, cred că este o greşeală. Cînd spunem că relaţia de nedeterminare este o relaţie matematică, înseamnă că amestecăm semnificaţia matematică a relaţiei de nedeterminare cu fizica modernă. Cred că trebuie să recunoaştem că această relaţie de nedeterminare, care a fost dedusă chiar atunci cînd s-a creat mecanica cuantică, reprezintă o lege fizică avînd aceeaşi valoare ca şi legile introduse în mecanica clasică (legea conservării energiei etc.) şi ca legile introduse de teoria relativităţii, adică legea constanţei vitezei luminii, legea echivalenţei sistemelor de referinţă. Oricare dintre aceste legi fundamentale poate fi exprimată sub forma mai multor enunţuri afirmative sau sub forma mai multor enunţuri negative. Un enunţ negativ este, bunăoară, că nu putem



crea un perpetuum mobile. Este o formulare negativă, şi cînd dăm o formulare negativă, limităm implicit posibilităţile noastre. Spunem că un anumit domeniu al imaginaţiei noastre, care ar putea exista, nu are sens, şi un fenomen pe care ni l-am putea închipui nu există de fapt în natură. Nu există un perpetuum mobile. Îl putem imagina, dar el nu există. Nu există un experiment, care să măsoare coordonatele şi viteza cu o precizie oricît de mare. Cînd construim o teorie precisă, legea este verificată în ea în mod automat. Această situaţie se observă atît în teoria relativităţii, cît şi în mecanica cuantică. Dacă considerăm mecanica cuantică din punct de vedere clasic, concepem relaţia de nedeterminare ca pe o delimitare a noţiunilor noastre, iar dacă considerăm fenomenul sub aspect cuantic, relaţia de nedeterminare apare pentru noi ca o lege a naturii şi nu mai prezintă limitări pentru noţiunile noastre. Relaţia de nedeterminare reflectă o lege obiectivă a naturii, chiar dacă nu o reflectă cu precizie.

Faptul că există, a adăugat I. N. Demkov, două relaţii de nedeterminare, pentru impuls şi coordonată şi pentru energie şi timp, este un neajuns al actualei mecanici cuantice, dar nu duce cîtuşi de puţin la dedublarea relaţiei de nedeterminare.

M. V. Volkenştein a combătut, de asemenea, categoric teza autorului despre cele două interpretări ale relaţiei de nedeterminare. Există, a declarat el, o singură relaţie de nedeterminare, un singur principiu, dar foarte profund, şi nu este atît de important că, istoric, el a fost dedus cu ajutorul unui experiment mintal, în care nefericitului observator îi revine un rol jalnic. Aceasta nu scade calitatea principiului nedeterminării. Acest principiu rezultă organic din întregul aparat al mecanicii cuantice şi are, cum a arătat tov. Demkov, în aceeaşi măsură, o semnificaţie afirmativă şi una negativă.

Existenţa energiei de zero, aserţiunea că mişcarea particulelor nu se opreşte nici chiar la zero absolut se poate deduce în întregime din principiul nedeterminării.

Îmi este indiferent în ce fel a fost dedus principiul, — cu ajutorul aparatului teoriei, sau cu ajutorul unui experiment mintal, — amîndouă sînt adevărate. Ce nu ne satisface aici? Se pare că totul se reduce la o terminologie nefericit aleasă care poate fi legată subiectiv de poziţiile machiste ale aceluiaşi Heisenberg.

În privinţa altor aprecieri principiale, pe care autorul le dă tezelor cuprinse în lucrările creatorilor mecanicii cuantice, — Heisenberg, Bohr şi alţii, — cei care au luat cuvîntul la discuţie



0,81

au exprimat păreri diferite. Aceasta s-a întîmplat, între altele, la aprecierea principiului complementarității.

Este cunoscut că, în lucrările lui Heisenberg şi ale lui Bohr, faptul complementarității coordonatei şi a impulsului în relația de nedeterminare este interpretat ca un nou principiu filozofic şi extins la relația dintre descrierea spațio-temporală şi cea cauzală, la momentul mecanic şi la cel vitalist, la cel fizic şi la cel psihologic, la cel național şi la cel internațional etc. Toți participanții la discuție au menționat caracterul în ansamblu idealist, antiştiințific şi greşit al acestui mod de a interpreta principiul complementarității. Au existat însă divergențe de păreri în privința anumitor elemente ale complementarității şi a aprecierii generale a principiului complementarității.

Astfel, G. F. Drukarev a subliniat, drept un moment reuşit în cartea lui M. E. Omelianovski, critica celebrei alternative a lui Heisenberg, că, în mecanica cuantică, poate fi vorba ori de o descriere spațio-temporală, ori de una cauzală.

I. N. Demkov a dat aceeaşi apreciere pozitivă acestor pasaje ale cărții. Dar profesorul M. E. Volkenştein nu a fost de acord cu aprecierea dată acestei laturi a principiului complementarității.

M. E. Omelianovski, a declarat el, consideră această afirmație drept idealistă, şi spune că nu putem opune cauzalitatea descrierii spațio-temporale, iar tov. Demkov vede în această critică ceva pozitiv, după care spune din nou că descrierea statistică nu este cu nimic mai rea decît cea deterministă. În acest sens, tov. Demkov se contrazice. Despre ce cauzalitate este vorba? Este limpede că Heisenberg, educat în ideile machismului, care se bucură de o largă circulație în străinătate, se exprimă într-un fel foarte echivoc, chiar atunci cînd enunță o teză materialistă. Nu este vorba de cauzalitate într-un sens mai larg al cuvîntului; o astfel de cauzalitate nu contrazice nici un fel de descriere spațio-temporală, ci despre cauzalitatea dinamică elementară, cu care avem de-a face în fizica clasică. Dacă veți susține că descrierea spațio-temporală nu este conciliabilă cu cea dinamică, adică cu una ca cea care definește mişcarea unui glonte sau a unei planete, vom avea o caracterizare cît se poate de exactă a ceea ce se întîmplă în realitate.

După opinia lui M. V. Volkenştein, criticarea de pe aceste poziții mecaniciste a ceea ce şcoala de la Copenhaga propune drept concluzii fizice şi filozofice, nu ne permite să stabilim semnificația pozitivă şi negativă a acestor enunțuri şi principii.



Aceeaşi idee a fost subliniată şi de V. I. Sviderski. Principiul complementarității, a spus el, în interpretarea largă, filozofică pe care i-o dă Bohr, nu poate fi acceptat şi trebuie demascat ca un principiu idealist şi metafizic. Dar am impresia că, dacă plecăm de la conținutul rațional al relației de nedeterminare, de la complementaritate în accepțiunea ei fizică, atunci nu le putem respinge *de plano* din punct de vedere filozofic; trebuie să le analizăm şi să vedem ce este în ele rațional din punct de vedere filozofic şi să eliminăm toate stratificările şi impuritățile idealiste, care provin de la interpretarea acestei noțiuni de către şcoala de la Copenhaga.

A. D. Aleksandrov, membru corespondent al Academiei de Ştiințe a U.R.S.S., a apărat cu şi mai multă hotărîre o seamă de teze ale şcolii de la Copenhaga, legate de principiul complementarității. Literatura noastră asupra fundamentelor mecanicii cuantice, deşi este destul de bogată, a declarat el, a făcut prea puțin pentru progresul acestei probleme. După profunda analiză a bazelor mecanicii cuantice, făcută de Bohr şi Heisenberg, clasici ai acestei ştiințe, progresul în acest domeniu nu a fost prea mare. Cauza stă în faptul că înțelegerea mecanicii cuantice este foarte dificilă.

Pentru a înainta în înțelegerea mecanicii cuantice, trebuie să ne ocupăm de o foarte profundă analiză a noțiunilor ei de bază. Spre regretul nostru, problemele de care ne lovim sînt puse într-un mod destul de superficial.

În opoziție cu obişnuitele aprecieri nihiliste ale alternativei lui Heisenberg, A. D. Aleksandrov a arătat că această celebră relație între descrierea cauză-efect şi cea spațio-temporală este o profundă şi extrem de interesantă problemă filozofică.

Teoria relativității duce la o concepție profundă asupra spațiului-timp. Spațiul-timp nu este altceva decît ansamblul evenimentelor, în care se face abstracție de toate proprietățile acestor evenimente, în afară de cele care sînt determinate de relația de influență a unor evenimente asupra altora. În majoritatea evenimentelor, există întotdeauna o anumită structură, unele evenimente acționează asupra altora. Există o relație de influențare care, într-o formă mai abstractă, poate fi definită ca o relație de succesiune. Această relație determină structura spațiului-timp. Acest fapt poate fi considerat ca o teoremă a teoriei relativității, indiferent de felul în care o vom interpreta; este un fapt care poate fi demonstrat matematic. Ce înseamnă aceasta? Pentru ca

să aibă rost să vorbim despre o localizare spaţio-temporală a evenimentelor, trebuie ca acestea să se afle într-o oarecare relaţie cu alte evenimente; această relaţie, legată de o acţiune, ar fi un eveniment pe acest eveniment. Dacă există acţiune, există şi impuls. De aceea, ajungem imediat la ideea că noţiunea de mişcare în virtutea inerţiei este o contradicţie interioară, şi în cadrul mecanicii clasice.

Ce este un corp care se mişcă în virtutea inerţiei? Este un corp asupra căruia nu acţionează nimic, dar dacă nimic nu acţionează asupra lui, înseamnă că el nu este localizat nicăieri. Cînd excludem această legătură, atunci corpul care se mişcă în virtutea inerţiei nu se află nicăieri, deci nu se mişcă de loc. Aceasta nu înseamnă că noţiunea mişcării în virtutea inerţiei ar fi cu totul lipsită de sens. Înţelegem că avem de-a face cu o anumită limită de abstracţiune, pe care avem dreptul să o aplicăm, dar nu trebuie să credem că, în realitate, ar exista ceva în genul mişcării ideale în virtutea inerţiei. Trebuie să înţelegem caracterul abstract al acestei afirmaţii. Din acest punct de vedere, nu este nimic surprinzător în faptul că mecanica cuantică duce la acest rezultat, că nimic nu acţionează asupra electronului; acesta se mişcă în virtutea inerţiei şi nu se află nicăieri. Atunci, nu mai rămîne nimic, în afară de faptul că, în general, el se află undeva în spaţiu. Aceasta nu înseamnă că el dispare din spaţiu, că trece în imperiul spiritelor. El rămîne în spaţiu, dar întrucîtva într-un sens special. Spaţiul rămîne, dar nu mai avem aici o localizare. Şi însăşi noţiunea de spaţiu-timp implică această contradicţie. Cred că nu putem scăpa de această contradicţie; ea stă în esenţa lucrului. Nu putem înainta în analiza fundamentelor fizicii, ale mecanicii cuantice, dacă vom nega toate contradicţiile reale, care se reflectă în noţiunile unor teorii ca mecanica cuantică şi teoria relativităţii. Am impresia că această rigurozitate în noţiuni este extrem de importantă.

Ocupîndu-se de latura filozofică a cărţii, cei care au luat cuvîntul au subliniat rolul foarte important pe care-l prezintă o profundă analiză dialectică pentru interpretarea corectă a problemelor cercetate. Natura statistică, probabilistă a microobiectului, spune M. V. Volkenştein, cere în mod imperios filozofilor să dezvolte problema cauzalităţii, într-un plan cît se poate de vast.

Sarcina filozofilor marxişti, au relevat M. V. Volkenştein şi A. D. Aleksandrov, constă în a lua mecanica cuantică aşa cum este ea, fără nici un fel de adaosuri şi dorinţe subiective, şi de a căuta



să înţeleagă profunda ei natură dialectică. Cartea lui M. E. Omelianovski nu satisface întotdeauna această condiţie.

Cartea, a arătat V. I. Sviderski, dă o analiză gnoseologică minuţioasă a multor probleme importante din mecanica cuantică, dar analiza ontologică este sensibil mai slabă decît cea gnoseologică. Aspectul ontologic al problemei este bine expus în carte, de exemplu, la analiza legii statistice şi a celei dinamice, şi în alte cîteva probleme. Dar el este insuficient dezvoltat în carte, deşi este principal în filozofie şi îndeosebi, în funcţiunea ei metodologică. Fără o profundă analiză ontologică a problemei mecanicii cuantice, nu putem rezolva nici problema cauzalităţii în microcosm.

Cercetînd alte merite şi lipsuri în aspectul filozofic al cărţii, V. I. Sviderski a reliefat munca pe care a depus-o autorul cărţii pentru demascarea falsificării multor noţiuni ale mecanicii cuantice de către savanţii burghezi, cum ar fi substituirea noţiunii de subiect în locul celei de aparat, a noţiunii de indeterminism în locul celei de statisticitate, a noţiunii de realitate fizică în locul celei de realitate obiectivă, a noţiunii de impreciziune în locul celei de nedeterminare etc.

Totodată, autorul cărţii abuzează şi el cîteodată de această substituire de noţiuni şi de interpretarea lor greşită. Aceasta se referă, în particular, la interpretarea arbitrară a unor noţiuni folosite de unii fizicieni. Astfel, în pp. 18 şi 21, noţiunea de obiectiv, folosită greşit de către Heisenberg în locul celei de absolut, este folosită de autor pentru a-l critica pe Heisenberg pe plan gnoseologic.

Autorul foloseşte acelaşi procedeu împotriva lui Rosenfeld, în pp. 139—140, deşi acesta identifică în mod corect obiectivul, pe care îl concepe ca absolut fizic, cu invariantul etc. O astfel de critică, bazată pe interpretarea diferită a unor noţiuni, nu aduce un folos real.

Totodată, însuşi autorul substituie, în mod cu totul ilegitim, importantul criteriu gnoseologic al obiectivităţii, în sensul independenţei de conştiinţă, prin independenţa de aparat, de măsurătoare etc. (pp. 22, 39 passim).

„Conisder cu totul inadmisibil procedeul, — a subliniat V. I. Sviderski, — practicat uneori la noi în filozofie, de a interpreta noţiunea noastră gnoseologică clară şi precisă de obiectivitate, ca independenţă de sistemul de referinţă, independenţă de aparat, de sistemul de coordonate, de măsurători şi de multe alte lucruri. Toate acestea sînt fundamental greşite".

Acestea sînt principalele merite şi deficienţe care, după opinia membrilor Seminarului de filozofie al fizicienilor de la Universitatea din Leningrad, caracterizează cartea lui M. E. Omelianovski „Problemele filozofice ale mecanicii cuantice".

În cuvîntul de încheiere, *M. E. Omelianovski* a mulţumit membrilor seminarului pentru discutarea cărţii sale, pentru analiza părţilor pozitive şi pentru observaţiile critice pe care i le-au făcut. El şi-a exprimat speranţa că rezultatele discuţiei vor folosi atît fizicienilor, cît şi filozofilor.

Răspunzînd la obiecţiile concrete şi lămurind anumite elemente ale poziţiei sale, el a arătat că mecanica cuantică pune două mari probleme filozofice: realitatea şi cauzalitatea. Ele nu pot fi rezolvate în afara dialecticii continuului şi discretului, necesarului şi contingentului, posibilului şi realului. Rezolvînd aceste probleme, mulţi fizicieni de seamă din străinătate, îndeosebi Bohr şi Heisenberg, şovăie, în fond, între idealism şi materialismul dialectic. Din acest punct de vedere, ideile şcolii de la Copenhaga prezintă o oarecare abordare a dialecticii proceselor atomice. Dar faptul că aceşti fizicieni nu cunosc materialismul dialectic face ca ei să încline spre idealism, deşi nu trebuie să facem tuturor fizicienilor din aceeaşi şcoală aceeaşi coafură filozofică.

Trecînd la problema realităţii în mecanica cuantică, aşa cum este expusă în cartea sa, M. E. Omelianovski a subliniat că elementul principal aici este de a exprima corect din punct de vedere teoretic proprietăţile corpusculare şi cele ondulatorii ale particulelor atomice, pe care ni le arată experienţa, iar aceasta se poate face numai pe baza recunoaşterii caracterului obiectiv al proprietăţilor duale corpuscular-ondulatorii ale particulelor atomice, şi nicidecum prin admiterea „incontrolabilităţii", rolului special al aparatului în mecanica cuantică şi a altor lucruri specifice pentru interpretarea şcolii de la Copenhaga.

La Heisenberg, după cum se poate vedea ca şi în ultimul său articol, publicat în culegerea consacrată lui Bohr (1955), noţiunea de obiectiv nu este identică cu concepţia ei materialistă. Heisenberg face distincţie între noţiunile de obiectiv şi de real, iar obiectivul se contopeşte la el cu conceperea obiectivului în spiritul doctrinei platonice. M. E. Omelianovski atrage atenţia asupra faptului că, în lucrările multor fizicieni (S. J. Vavilov şi alţii), îşi găseşte o realizare recunoaşterea caracterului obiectiv al proprietăţilor duale corpuscular-ondulatorii ale particulelor atomice; el citează ca exemplu manualul de mecanică cuantică al autorilor germani



Geber şi Weber (1956), în care nici nu se pomeneşte despre principiul complementarităţii, despre experimentele mintale ale lui Heisenberg etc. şi în care mecanica cuantică este expusă pe baza recunoaşterii caracterului obiectiv al aspectelor ondulator şi corpuscular în comportarea particulelor atomice.

M. E. Omelianovski a menţionat că relaţia de nedeterminare, care leagă mărimile cuantice corespunzătoare, caracterizează proprietăţile corpuscular-ondulatorii ale obiectelor atomice. Or, principiul nedeterminării este organic legat de incontrolabilitate; el nu rezultă din formalismul cuantic, ci este menit să-l întemeieze de pe poziţiile complementarităţii. De aceea, este greşit să confundăm relaţia de nedeterminare şi principiul nedeterminării, lucru pe care, în fond, îl face şcoala de la Copenhaga. „Tocmai de aceea, — a spus M. E. Omelianovski, — sînt în foarte multe de acord cu I. N. Demkov şi cu ceilalţi tovarăşi, deoarece opiniile exprimate de ei nu sînt în divergenţă cu afirmaţiile cărţii". Dar M. E. Omelianovski este de părere că nu avem voie să considerăm mecanica cuantică „din punct de vedere clasic", cum propun I. N. Demkov, G. F. Drukarev şi M. V. Volkenştein, deoarece aceasta duce, în ultimă instanţă, la recunoaşterea necontrolabilităţii (pe care Demkov şi Drukarev o combat). Ca atare, este greşit să abordăm mecanica cuantică din două puncte de vedere, cum propune I. M. Demkov, „din punct de vedere clasic" şi „din punct de vedere cuantic". În mecanica cuantică, trebuie să interpretăm numai din punct de vedere cuantic — cum se rezolvă problema în carte — şi, prin urmare, nu există în carte nici un fel de dedublare a relaţiei de nedeterminare.

Trecînd la problema cauzalităţii în mecanica cuantică, M. E. Omelianovski a subliniat deosebita importanţă care revine în rezolvarea ei categoriilor de posibilitate (respectiv probabilitate) şi actualitate, transformării lor una în cealaltă. Probabilitatea, a spus el, este măsura posibilităţii de realizare a ceva în condiţii determinate, care se pot repeta nemărginit. Reprezentanţii fizicii clasice, atunci cînd au creat fundamentele teoretice ale ştiinţei lor, au încercat să evite noţiunea de probabilitate obiectivă (conform determinismului laplacean). În mecanica cuantică, nu putem evita noţiunea de probabilitate obiectivă. Totodată, pentru transformarea posibilităţii în realitate, adică pentru trecerea de la probabilitatea a ceva la ceea ce se realizează, este necesar (aceasta rezultă din definiţia probabilităţii) ori să se repete nemărginit condiţiile în care se produce realitatea, ori să avem un număr de nmărginit de feno-

mene care reprezintă posibilităţi realizate în condiţiile respective. Dar atunci, în planul transformării posibilităţii în actualitate, adică din punctul de vedere al realizării aserţiunilor probabiliste şi al concluziilor din mecanica cuantică, apare inevitabilă introducerea ansamblului statistic.

Dacă ţinem seama de toate acestea, continuă M. E. Omelianovski, atunci rezultatul discuţiei dintre V. A. Fok şi D. I. Blohinţev trebuie rezumat astfel: V. A. Fok, susţinînd că funcţia de undă se referă la obiectul atomic individual, subliniază momentul de posibilitate şi legile care o guvernează; D. I. Blohinţev, afirmînd că funcţia de undă se referă la ansamblul statistic, subliniază momentul actualităţii, al realizării posibilităţilor. Întregul adevăr stă în aceea că actualitatea şi posibilitatea sînt inseparabile în mecanica cuantică, ceea ce înseamnă că funcţia de undă caracterizează probabilităţile comportării obiectului atomic individual, iar posibilităţile corespunzătoare se realizează prin intermediul multor obiecte atomice. Cu alte cuvinte, mecanica cuantică leagă într-un întreg probabilităţile inerente obiectului atomic individual şi comportarea reală a unei mulţimi de obiecte atomice.

Astfel, spune M. E. Omelianovski, cad obiecţiile expuse în problema ansamblului în cartea discutată. De exemplu, cînd G. F. Drukarev îi reproşează autorului că „mecanica cuantică, descriind ansamblul, exprimă, într-o anumită descriere statistică, proprietăţile obiectelor elementare", el afirmă acelaşi lucru care este susţinut şi în carte. Sau cînd spune că, în mecanica cuantică, nu este nicidecum vorba întotdeauna despre probabilitate, ci figurează şi valori precise, referitoare la o singură particulă elementară, avem iarăşi un lucru susţinut şi în carte (problema valorilor proprii), şi încă în multe pagini.

Mi se atribuie afirmaţia, spune M. E. Omelianovski, că „mecanica cuantică, în forma ei actuală, este o frînă pentru dezvoltarea teoriei proceselor elementare şi că concepţia ansamblelor ar deschide drum acestei dezvoltări". În realitate, în carte este vorba, în cazul de faţă, nu despre „mecanica cuantică", ci despre „interpretarea şcolii de la Copenhaga", şi mai departe, în unele puncte, autorul nu este de acord cu D. I. Blohinţev, lucru pe care participanţii la discuţie nu l-au relevat.

Mai departe, M. E. Omelianovski a contestat corectitudinea unor observaţii critice ale lui V. I. Sviderski. În particular, în legătură cu afirmaţiile că în carte ar exista o interpretare arbitrară a unor noţiuni folosite de Heisenberg şi de Rosenfeld, autorul menţionează că a analizat aceste noţiuni în conformitate cu ter-



menii în care sînt desemnate în contextul pasajelor citate din Heisenberg şi Rosenfeld. V. I. Sviderski, dimpotrivă, atribuie acestor noţiuni o accepţiune pe care nu o au termenii folosiţi de Heisenberg şi Rosenfeld. M. E. Omelianovski nu este de acord cu V. I. Sviderski, nici în afirmaţia că în cartea sa ar fi dată „o minuţioasă analiză gnoseologică a multor probleme importante din mecanica cuantică", pe cînd „analiza ontologică este considerabil mai slabă decît cea gnoseologică". După părerea lui M. E. Omelianovski, „analiza gnoseologică şi cea ontologică" corespund din punctul de vedere al materialismului dialectic.

M. E. Omelianovski consideră esenţiale observaţiile lui M. V. Volkenştein şi A. D. Aleksandrov, că relaţia dintre descrierea cauzală şi cea a spaţio-temporală ar fi „o foarte interesantă problemă filozofică". În adevăr, după opinia autorului cărţii, această „complementaritate" reprezintă o antinomie *sui generis* în descrierea proceselor atomice. După Heisenberg, sînt admisibile fie descrierea în termenii noţiunilor corpusculare clasice, şi legile statistice, fie descrierea prin funcţia de undă şi legile dinamice. Este un drum spre dialectică, care, la Heisenberg, se pierde în nisipurile concepţiilor idealiste. În realitate, proprietăţile şi legile proceselor atomice pot fi înţelese corect numai dacă vom considera ca o unitate 1° proprietăţile corpusculare şi cele ondulatorii, 2° legile statistice şi cele dinamice. Încercarea de a analiza problema astfel este făcută în carte, poate că nu peste tot suficient de complet şi de clar.

„Vreau să subliniez din nou — a declarat M. E. Omelianovski, la sfîrşitul cuvîntării sale, — că toate problemele filozofice din mecanica cuantică gravitează spre dialectica continuului şi discretului, necesarului şi contingentului, posibilităţii şi actualităţii, identităţii şi deosebirii. Filozofii trebuie să-i ajute pe fizicieni, prin dezvoltarea profundă a acestor probleme, ceea ce va permite să ducem în mod temeinic şi argumentat lupta împotriva concepţiilor idealiste în teoria cuantică şi în alte teorii ale fizicii moderne şi să contribuim la progresul întregii ştiinţe a fizicii".

*
* *

Discutarea cărţii lui M. E. Omelianovski la seminarul de filozofie al fizicienilor de la Universitatea din Leningrad a dovedit

în mod incontestabil fecunditatea contactului dintre fizicieni şi filozofi în rezolvarea celor mai complexe probleme filozofice ale ştiinţei moderne.

**V. I. Sviderski**
(Leningrad)

## II

La Seminarul de filozofie al fizicienilor de la Filiala din Ural a Academiei de Ştiinţe a U.R.S.S., a avut loc, în iunie 1957, o discuţie asupra cărţii lui M. E. Omelianovski „Problemele filozofice ale mecanicii cuantice". La discuţie, au participat numeroşi colaboratori ai filialei, care lucrează la Institutul de fizică a metalelor.

În cuvîntul introductiv, *G. A. Kursanov* a arătat că însuşi faptul apariţiei unei serioase cercetări monografice, cum este cartea în discuţie, are o mare importanţă. Autorul şi-a luat o sarcină grea: de a analiza acerba luptă filozofică ce se desfăşoară în cele mai importante probleme ale mecanicii cuantice. El ia poziţie, de pe platforma unui materialism militant, împotriva diverselor idei şi concepţii idealiste, mai cu seamă împotriva idealismului şcolii de la Copenhaga. El menţionează, de asemenea, inconsecvenţa şi şovăielile din concepţiile unor savanţi sovietici în problemele filozofice ale mecanicii cuantice. Partea critică a cărţii este cea mai valoroasă. Dar trebuie să consemnăm că autorul critică adeseori într-un mod negativ; cartea cuprinde puţine sinteze şi concluzii filozofice pozitive. Acest lucru autorul îl face numai în unele probleme (de exemplu, rolul aparatului în cunoaşterea fenomenelor fizice). Şi tocmai aceste concluzii şi sinteze prezintă cel mai mare interes. Trebuie să se arate ce elemente noi dau rezultatele mecanicii cuantice pentru materialismul dialectic, pentru dezvoltarea şi concretizarea legilor şi categoriilor lui.

Luînd cuvîntul, *A. V. Sokolov* a arătat că M. E. Omelianovski explică în mod corect că baza mecanicii cuantice este unitatea naturii corpuscular-ondulatorii a microobiectelor. În primul paragraf al acestui capitol, autorul introduce trei noţiuni: relaţia de impreciziune, principiul nedeterminării şi principiul complementarităţii. În prezent, este bine stabilit că relaţia de impreciziune şi principiul nedeterminării sînt sinonime. Fundamentul mecanicii cuantice îl constituie unitatea naturii corpuscular-ondulatorii a microobiectelor, a cărei expresie matematică este principiul nedeterminării. Trebuie să distingem în principiul nedeterminării două laturi: cea negativă, care stabileşte limitele aplicabilităţii noţiunilor din fizica clasică, şi cea pozitivă, care arată că avem de-a face cu fenomene de o natură nouă, specifică, în care baza este unitatea corpuscular-ondulatorie a microobiectelor. Analizînd ceea ce numeşte „principiul nedeterminării", autorul respinge toate experimentele mintale ale lui Heisenberg, eliminînd totodată şi conţinutul pozitiv al acestui principiu. Experimentele mintale nu au nimic comun cu idealismul. Dimpotrivă, în ele se ţine seama de esenţa fenomenelor. De exemplu, şi ciclul Carnot este un experiment mintal, ceea ce nu l-a împiedicat să devină modelul maşinii cu vapori.

După A. V. Sokolov, cartea lui M. E. Omelianovski cuprinde multe consideraţii şi concluzii tendenţioase, referitoare la întemeietorii mecanicii cuantice; adeseori, critica sună simplist şi neconvingător. Semnificaţia fizică a funcţiei de undă este dezvăluită insuficient. Autorul spune că funcţia de undă se referă la ansamblul cuantic, că funcţia de undă este o caracteristică statistică, că ea ţine seama de natura corpuscular-ondulatorie a microobiectelor, cînd trebuia explicat că funcţia de undă descrie starea sistemului şi, dacă în mecanica clasică, starea sistemului era dată printr-un punct în spaţiul fazelor, o astfel de descriere este imposibilă în mecanica cuantică. El nu menţionează nici măcar că pătratul funcţiei de undă în reprezentarea $x$ exprimă probabilitatea de a afla particula într-un loc anumit.

Cît priveşte aparatul matematic al mecanicii cuantice, A. V. Sokolov este de părere că M. E. Omelianovski expune corect esenţa acestei probleme. Dar el foloseşte într-un mod nefericit termenii de valori proprii compatibile şi incompatibile (p. 71), cînd ar fi trebuit să vorbească despre mărimi care sînt sau nu măsurabile simultan. Vorbind despre viitorul teoriei microproceselor individuale, M. E. Omelianovski arată că dezvoltarea teoriei cuantice a cîmpului va putea face anumiţi paşi în această direcţie. Se face afirmaţia greşită că teoria cuantică a cîmpului ar exista doar în forme preliminare. Mai departe, autorul consideră că unitatea naturii corpuscular-ondulatorii a microobiectelor va trebui să fie ideea directoare în viitoarea teorie a cîmpului. Dar, după cum crede A. V. Sokolov, această orientare a ştiinţei ar însemna un pas înapoi, o revenire la o etapă trecută din dezvoltarea

ştiinţei, deoarece reprezentările de cîmp pot să cuprindă unitatea proprietăţilor corpuscular-ondulatorii, dar nu trebuie să se reducă la acestea.

*K. P. Rodionov* a relevat că al treilea capitol al cărţii lui M. E. Omelianovski, consacrat expunerii teoriei materialist-dialectice a cunoaşterii şi principiului observabilităţii în fizică, dă o interpretare corectă, materialistă a problemei, pe baza realizărilor actualei teorii a relativităţii şi a mecanicii cuantice. Dar anumite teze ale autorului nu pot fi acceptate. Astfel, în p. 98, autorul trage concluzia categorică că principiul observabilităţii a fost un fel de pîrghie, care a permis lui Einstein să creeze teoria relativităţii şi lui Heisenberg, mecanica cuantică. În realitate, apariţia acestor teorii a fost determinată de întreaga dezvoltare anterioară a fizicii, precum şi de necesitatea de a înlătura contradicţiile, acumulate pe atunci între datele experimentale şi teoriile existente. În legătură cu aceasta, al treilea paragraf, consacrat criticii principiului observabilităţii în dezvoltarea reprezentărilor teoriei relativităţii, putea fi expus, după K. P. Rodionov, mult mai clar şi mai scurt. Acelaşi lucru este valabil şi în privinţa paragrafului 4, consacrat criticii principiului observabilităţii în dezvoltarea mecanicii cuantice. Mai departe, alături de critica întemeiată a concepţiilor şi concluziilor idealiste ale întemeietorilor teoriei relativităţii şi mecanicii cuantice, Einstein şi Heisenberg, nu se menţionează, spune K. P. Rodionov, meritul lor incontestabil de materialişti spontani, în dezvoltarea reprezentărilor fizice actuale despre fenomenele microcosmului şi în formarea unor noi concepţii asupra spaţiului şi timpului. Trebuie să mai menţionăm lipsa unor concluzii clare ale autorului în esenţa problemei şi analiza insuficientă a concepţiilor fizicienilor materialişti în diversele probleme ale mecanicii cuantice.

*M. S. Ghiterman* a subliniat că întreaga parte afirmativă a cărţii lui M. E. Omelianovski este scrisă în spiritul concepţiei „ansamblelor cuantice", al împărţirii în relaţie de nedeterminare şi principiu al nedeterminării, al speranţei în viitoarele teorii ale „parametrilor ascunşi" (care vor fi aplicabile obiectului individual). Toate acestea sînt cît se poate de discutabile. M. S. Ghiterman crede că autorul supraapreciază legătura dintre expunerea mecanicii cuantice la Bohr, Heisenberg etc. şi concluziile lor filozofice; el califică drept greşite teze care rezultă nemijlocit din datele experimentale; toţi cei care sînt de acord cu acestea din urmă sînt declaraţi răspunzători şi pentru toate concluziile reacţionare ale şcolii de la Copenhaga (vezi p. 162 passim). Cartea nu cuprinde o formulare precisă a problemelor analizate şi nici concluzii la sfîrşitul capitolelor şi al paragrafelor; părţile afirmative sînt vagi şi nu sînt separate de cele polemice. Cartea este scrisă într-un stil greoi, este plină de invective, atît la adresa creatorilor mecanicii cuantice, cît şi la adresa unor savanţi sovietici care nu sînt de acord cu părerile autorului. Există greşeli de factologie, cum ar fi, în p. 161, un exemplu greşit de ansamblu cuantic (la emisie, electronii interacţionează puternic, ceea ce contrazice ideea de ansamblu); în p. 143, exemplul cu măsurarea (contrar afirmaţiilor autorului, dacă vrem să măsurăm „o mărime", putem întotdeauna să ne realizăm intenţia într-un singur act de măsurare); în p. 147, exemplul cu termometrul (în domeniul clasic, după măsurarea temperaturii, putem întotdeauna, recurgînd la teoria bilanţului termic, să aflăm temperatura adevărată, pe cînd în mecanica cuantică, obţinem valoarea „adevărată" numai în limitele $\Delta_p \cdot \Delta_x \sim h$, adică în limitele unei „influenţe necontrolabile"). Nu putem admite, cum face autorul, că nu ar exista o deosebire calitativă între măsurători, între rolul aparatului în teoria clasică şi în cea cuantică.

Spre deosebire de teoria clasică, în teoria cuantică obiectul este microscopic, iar aparatul este un macroobiect, şi deoarece starea microobiectului este determinată de condiţiile macroscopice, precum şi din cauza faptului că, pentru caracterizarea microobiectelor folosim mărimi clasice (impulsul şi coordonata), este inevitabilă influenţa aparatului macroscopic asupra microobiectului în procesul măsurării. În general, această influenţă este mică: astfel, pentru măsurarea poziţiei particulei, este nevoie de o influenţă foarte puternică pentru localizarea particulei, care, incontestabil, îi va afecta proprietăţile. Această influenţă nu este „principială" (în sens gnoseologic), ci legată de proprietăţile calitativ noi ale microobiectelor (natura dual, caracterul statistic al legilor etc.), care fac să intervină relaţia $\Delta_p \Delta_x \sim h$. În mecanica cuantică, care neglijează microstructura ambianţei macroscopice, este inevitabilă folosirea unor noţiuni „insuficient definite", ca $p$ şi $x$, şi nu are rost să vorbim despre „viteza într-un punct dat" a unui microobiect, după cum nu are rost, în domeniul clasic, să vorbim despre frecvenţa la un moment dat, „lungimea de undă într-un punct" etc. Aceste consideraţii, susţine M. S. Ghiterman, confirmă prezenţa unei „influenţe necontrolabile" şi subliniază deosebirea

calitativă dintre micro- şi macroobiect, lucru de care autorul nu ţine seama.

În cartea lui M. E. Omelianovski, este de părere M. S. Ghiterman, aparatul este subiectivizat în mod inutil, iar modul de exprimare despre condiţiile înconjurătoare este metafizic (vezi, de exemplu, p. 159). Autorul greşeşte atunci cînd combate necesitatea prezenţei unui aparat clasic la măsurare (p. 149).

În paragraf 1, cap. IV, există consideraţii banale despre rolul aparatului, care se puteau omite. Nu putem fi de acord cu părerile autorului, exprimate în paragraf 3 (p. 67 şi urm.), în legătură cu dispozitivul de măsurare: ele nu sînt demonstrate şi, iarăşi, se leagă de saltul calitativ la trecerea din domeniul microscopic în cel macroscopic, pe care autorul nu-l recunoaşte.

*A. N. Orlov* a făcut o seamă de observaţii critice la capitolul IV, consacrat rolului aparatului în mecanica cuantică. El a semnalat că autorul dă definiţii diferite, şi adeseori greşite, ale aparatului. Legătura dintre măsurarea şi relaţia de nedeterminare şi ansamblele cuantice este expusă neclar şi confuz. Nu este adevărat că măsurarea unui microobiect nu se deosebeşte principial prin nimic de măsurarea unui obiect macroscopic. Definiţia măsurătorii în cartea lui Landau şi Lifşiţ, citată în p. 146, tinde să sublinieze caracterul obiectiv al procesului de măsurare. Orice interacţie cu obiectul cercetat poate fi folosită pentru măsurarea unora dintre proprietăţile sale. Mai departe. Consideraţiile despre „dispozitivul experimental dezvoltat" sînt superflue. Ele nu contribuie cu nimic la lămurirea particularităţilor măsurării în mecanica cuantică. Problema rolului teoriei în interpretarea indicaţiilor aparatelor mai trebuie dezvoltată. În p. 159 se afirmă că interacţia cu obiectul măsurat „depăşeşte limitele a ceea ce face ca un corp fizic să fie aparat". Dar cum să măsurăm fără interacţie? Nu se spune nimic despre fluctuaţiile în aparate, deşi ele joacă un rol important la măsurarea microobiectelor. „Condiţiile materiale ale măsurării" (p. 164) sînt o nouă născocire inutilă a autorului. Omul a cunoscut întîi fenomenele macroscopice, apoi pe cele microscopice, nu graţie producţiei, ci pentru că el însuşi este un obiect macroscopic. Acest capitol şi concluziile (pp. 221—225) sînt scrise într-un mod cît se poate de nefericit. După opinia lui A. N. Orlov, capitolul IV nu poate să-i fie de folos unui cititor care doreşte să-şi completeze cunoştinţele, să se lămurească în privinţa semnificaţiei filozofice a problemelor măsurării microobiectelor.



Trăgînd concluziile discuţiei, *S. V. Vonsovski* a menţionat că, în întregul ei, cartea lui M. E. Omelianovski, face o impresie bună, cu toate deficienţele ei destul de mari. El este de acord cu ideea că felul în care autorul critică concepţiile şcolii de la Copenhaga este unilateral şi pur negativ. Cartea conţine foarte puţine sinteze filozofice pozitive, rezultate din mecanica cuantică. Autorul nu expune destul de adîncit problema legii dinamice şi a celei statistice. Legile mecanicii cuantice au un caracter statistic, şi dezvoltarea viitoare a legilor statistice obiective din teoria cuantică actuală trebuie să urmeze calea unei şi mai mari îndepărtări de legile aproximate ale macrofizicii. Lămurirea profundă şi multilaterală a problemelor teoretice pe care le pune mecanica cuantică poate fi dată numai pe baza activităţii comune şi fecunde a filozofilor materialişti şi a fizicienilor.

**G. A. Kursanov**
(Sverdlovsk)

# TABLA DE MATERII


Pag

Din partea autorului . . . . . 3
*Capitolul I.* Materialismul şi idealismul în mecanica cuantică 5
*Capitolul II.* Realitatea obiectivă a fenomenelor atomice şi principiul complementarităţii al lui Bohr . . . . . 31
1. Principiul complementarităţii şi noţiunea de funcţie de undă în mecanica cuantică . . . . . 31
2. Despre relaţia de nedeterminare în mecanica cuantică . . . . . 62
3. Din nou despre semnificaţia fizică a funcţiei de undă . . . . . 76
*Capitolul III.* Teoria materialist-dialectică a cunoaşterii şi principiul observabilităţii în fizică . . . . . 97
1. Principiul observabilităţii, o teză a idealismului „fizic“ . . . . . 97
2. Despre „observabil“ şi „inobservabil“ în fizică . . 101
3. Principiul observabilităţii şi teoria relativităţii . . 109
4. Principiul observabilităţii şi teoria cuantică . . . 117
*Capitolul IV.* Aparatul şi mecanica cuantică . . . . . 130
1. Aparatul şi rolul lui în cunoaşterea fenomenelor fizice . . . . . 130
2. Idealismul „fizic“ despre aparat şi măsurare în mecanica cuantică . . . . . 137
3. Aparatul şi rezultatul măsurării . . . . . 150
*Capitolul V.* Determinismul şi mecanica cuantică . . . . 167
1. Determinismul mecanic şi mecanica cuantică . . . 171
2. Despre unitatea legii dinamice şi a celei statistice 184
3. Determinismul şi cauzalitatea în mecanica cuantică 205
În loc de încheiere . . . . . 221
Completare . . . . . 226
Anexă: Despre problemele filozofice ale mecanicii cuantice, de *V. I. Sviderski* şi *G. A. Kursanov* . . . . . 235